



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 197 40 996 A 1**

51 Int. Cl.⁶:
B 08 B 3/02
B 05 B 7/00
H 01 L 21/302

21 Aktenzeichen: 197 40 996.2
22 Anmeldetag: 17. 9. 97
43 Offenlegungstag: 4. 6. 98

DE 197 40 996 A 1

30 Unionspriorität:
8-321963 02. 12. 96 JP

71 Anmelder:
Mitsubishi Denki K.K., Tokio/Tokyo, JP; Taiyo Toyo
Sanzo Co., Ltd., Osaka, JP

74 Vertreter:
Meissner, Bolte & Partner, 80538 München

72 Erfinder:
Kanno, Itaru, Tokio/Tokyo, JP; Tada, Masuo, Osaka,
JP; Ogawa, Mitsuhiro, Osaka, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Zweifluid-Reinigungsstrahldüse sowie Reinigungsvorrichtung und Anwendungsverfahren dafür

57 Eine Zweifluid-Reinigungsstrahldüse hat eine Zerstäubungseinheit, die mit einem Zerstäubungsrohr ausgebildet ist, in dem eine Flüssigkeit von einem Druckgas zu Flüssigkeitströpfchen zerstäubt wird, und eine Beschleunigungseinheit mit einem Beschleunigungsrohr, das die Flüssigkeitströpfchen beschleunigt und sie auf die Oberfläche eines Werkstücks ausstößt, um an der Werkstückoberfläche haftende Staubpartikel zu entfernen. Die für den Gasdurchfluß verfügbare Querschnittsfläche des Zerstäubungsrohrs ist größer als die für den Gasdurchfluß und die Flüssigkeitströpfchen verfügbare Querschnittsfläche des Beschleunigungsrohrs. Das Beschleunigungsrohr hat die Form eines geradzylindrischen Rohrs oder einer Lavalldüse.

Es wird also eine Zweifluid-Reinigungsstrahldüse bereitgestellt, die imstande ist, mikrofeine Staubpartikel, die an einem Werkstück wie etwa einem Halbleiterwafer haften, durch die kräftige Wirkung von Flüssigkeitströpfchen zu entfernen, ohne die Werkstückoberfläche zu beschädigen.

DE 197 40 996 A 1

Die Erfindung betrifft eine Zweifluid-Reinigungsstrahldüse, insbesondere zum Reinigen eines Werkstücks wie etwa eines Halbleiterwafers oder dergleichen, von an dem Werkstück anhaftenden Verunreinigungen. Weiterhin betrifft die Erfindung eine Reinigungsvorrichtung und ein Verfahren, die mit einer solchen Zweifluid-Reinigungsstrahldüse ausgestattet sind, um ein Werkstück wie etwa einen Halbleiterwafer von daran haftenden Verunreinigungen zu befreien.

Allgemein haften verschiedene Verunreinigungen an der Oberfläche eines Halbleiterwafers während der Herstellungsprozesse für ein Halbleiterbauelement. Beispielsweise haften Staubeilchen an der Oberfläche einer Isolierschicht oder einer Metallschicht, die auf einem Halbleiterwafer durch chemisches Bedampfen bzw. ein CVD-Verfahren oder ein Sputterverfahren gebildet ist. Wenn ein Halbleiterwafer, der eine Schicht oder Schichten trägt, dem Trockenätzen zur Strukturierung der Schicht unterzogen wird, bleiben Fotolackteilchen oder Metallteilchen an der Oberfläche des Halbleiterwafers zurück. Es sind bereits Hochdruck-Reinigungsverfahren, Reinigungsverfahren durch Waschen mit Eis sowie Flüssigkeitsstrahl-Reinigungsverfahren vorgeschlagen worden, bei denen eine Zweifluid-Reinigungsstrahldüse verwendet wird, um solche Verunreinigungen von dem Halbleiterwafer zu entfernen.

Fig. 17 ist eine charakteristische Ansicht einer herkömmlichen Hochdruckstrahl-Reinigungsvorrichtung. Beim Reinigen eines Halbleiterwafers 5 mit dieser Hochdruckstrahl-Reinigungsvorrichtung ist der Halbleiterwafer 5 auf einem Tisch 6 gehalten, und der Tisch wird von einem Motor 7 gedreht. Eine Hochdruckstrahldüse 69, die an eine Druckflüssigkeits-Zuführeinheit 68 durch eine Leitung angeschlossen ist, ist dem auf dem Tisch 6 gehaltenen Halbleiterwafer 5 gegenüberstehend angeordnet.

Beim Reinigen der Oberfläche des Halbleiterwafers 5 wird eine Flüssigkeit wie etwa Reinwasser von der Druckflüssigkeits-Zuführeinheit 68 mit hohem Druck im Bereich von 50 bis 100 kgf/cm² zugeführt, und die Hochdruckflüssigkeit wird durch die Leitung der Hochdruckstrahldüse 69 zugeführt. Die Hochdruckstrahldüse 69 gibt die Hochdruckflüssigkeit kontinuierlich als Strahl durch eine Düsenöffnung mit einem Durchmesser von ca. 0,1 mm auf die Oberfläche des Halbleiterwafers 5 ab, um an der Oberfläche des Halbleiterwafers 5 haftende Verunreinigungen mit der Hochdruck-Reinigungsflüssigkeit zu entfernen.

Das Reinigungsvermögen dieser Hochdruckstrahl-Reinigungsvorrichtung ist jedoch nicht befriedigend, und in manchen Fällen ist die Hochdruckstrahl-Reinigungsvorrichtung unfähig, Staubeilchen einer Teilchengröße von 1 µm oder weniger zu entfernen. Das Reinigungsvermögen kann dadurch verbessert werden, daß der Druck der Hochdruckflüssigkeit erhöht wird, so daß die Flüssigkeit mit erhöhter Strahlgeschwindigkeit durch die Hochdruckstrahldüse 69 abgestrahlt wird. Die Hochdruckflüssigkeits-Zuführeinheit 68 muß jedoch große Kapazität haben, um die Flüssigkeit auf einen erhöhten Druck zu bringen, was vom Kostenstandpunkt aus nicht vorteilhaft ist. Konkret ist die Strahlgeschwindigkeit der Flüssigkeit ca. 130 m/s, wenn der Flüssigkeitsdruck 100 kgf/cm² ist.

Fig. 18 ist eine Schnittdarstellung einer herkömmlichen Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70. Die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 hat ein erstes Rohr 72 zum Leiten eines Gases und ein zweites Rohr 73 zum Leiten einer Flüssigkeit, das einen vorderen Endbereich hat, der die Seitenwand des ersten Rohrs 72 in das erste Rohr 72 hinein durchdringt. Der vordere Endbereich des zweiten Rohrs 73 ist so angeordnet, daß seine Achse zu derjenigen des ersten Rohrs parallel ist.

Fig. 19 ist eine charakteristische Ansicht einer Zweifluid-Reinigungsvorrichtung zum Reinigen von Halbleiterwafern unter Anwendung dieser herkömmlichen Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70. Diese Zweifluid-Reinigungsvorrichtung hat einen Arbeitstrichter 8, einen Tisch 6, der in dem Arbeitstrichter 8 angeordnet ist und einen Halbleiterwafer 5 in dem Arbeitstrichter 8 hält, einen Motor 7 zum Drehen des Tisches 6, die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70, die Flüssigkeitströpfchen auf die Oberfläche des Halbleiterwafers 5 abstrahlt, eine Gaszuführeinrichtung 2a zum Zuführen eines Druckgases zu der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 sowie eine Flüssigkeitszuführeinrichtung 3a zum Zuführen einer Druckflüssigkeit zu der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70. Eine Ablaufleitung 9 ist an den Arbeitstrichter 8 angeschlossen. Die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 wird von einem Roboterarm 4 gehalten und bewegt.

Im Betrieb wird der Halbleiterwafer 5 auf dem Tisch 6 fixiert gehalten, und der Tisch 6 wird mit einer vorbestimmten Drehgeschwindigkeit gedreht. Die Gaszuführeinrichtung 2a und die Flüssigkeitszuführeinrichtung 3a liefern ein Druckgas bzw. eine Druckflüssigkeit an die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70. Die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 vermischt das Gas mit der Flüssigkeit, so daß die Flüssigkeit zu Flüssigkeitströpfchen 1 wird, wie Fig. 18 zeigt. Die Flüssigkeitströpfchen 1 werden in einem Abschnitt a-b des ersten Rohrs 72 durch den Gasstrom beschleunigt und aus dem Vorderende des ersten Rohrs 72 auf die Oberfläche des Halbleiterwafers 5 abgestrahlt, wie in Fig. 19 zu sehen ist, um an der Oberfläche des Halbleiterwafers 5 haftende Verunreinigungen zu entfernen. Die von dem Halbleiterwafer 5 entfernten Verunreinigungen, die durch die Oberfläche des Halbleiterwafers 5 zerstreuten Flüssigkeitströpfchen 1 und das aus der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 ausgestoßene Gas werden aus dem Arbeitstrichter 8 durch die Ablaufleitung 9 abgeführt. Während des Reinigungsbetriebs bewegt der Roboterarm 4, der die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 hält, diese horizontal entlang der Oberfläche des Halbleiterwafers 5, um die gesamte Oberfläche des Halbleiterwafers 5 zu reinigen.

Das Reinigungsvermögen der Zweifluid-Reinigungsvorrichtung, die die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 verwendet, ist höher als das der vorher erwähnten Hochdruckstrahl-Reinigungsvorrichtung, und ihre Betriebskosten sind niedriger als die einer herkömmlichen, mit Eiswäsche arbeitenden Reinigungsvorrichtung. Die Zweifluid-Reinigungsvorrichtung führt nicht zum Bruch von kleinsten oder Mikrostrukturen und beschädigt keine Metallschichten, die relativ geringe Härte haben, weil die Zweifluid-Reinigungsvorrichtung so gesteuert werden kann, daß ihre Reinigungskraft in einem weiten Bereich veränderlich ist. Die Reinigungswirkung der Zweifluid-Reinigungsvorrichtung ist jedoch geringer als die der mit Eiswäsche arbeitenden Reinigungsvorrichtung, und zwar aus den nachstehend erläuterten Gründen.

Wenn man einen Halbleiterwafer mit der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 reinigt, ist das Reinigungsvermögen der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 von der Geschwindigkeit der Flüssigkeitströpfchen abhängig, und die Geschwindigkeit der Flüssigkeitströpfchen ist von der Durchflußrate des Gases, der Durchflußrate der Flüssigkeit, der Länge des Abschnitts a-b des ersten Rohrs 72 der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 und dem Querschnitt der Bohrung des ersten Rohrs 72 abhängig. Beispielsweise ist die Geschwindigkeit der Flüssigkeitströpfchen 224 m/s, wenn die Durchflußrate

des Gases 200 l/min, die Durchflußrate der Flüssigkeit 100 ml/min, die Länge des Abschnitts a-b 100 mm und der Innendurchmesser des ersten Rohrs 72 4,35 mm ist. Da die Dimensionen der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 festgelegt sind, ist die Geschwindigkeit der Flüssigkeitströpfchen von den jeweiligen Durchflußraten des Gases- und der Flüssigkeit, insbesondere von der hohen Durchflußrate des Gases abhängig.

Wie Fig. 18 zeigt, ist das erste Rohr 72 gerade, und die Querschnittsfläche eines Bereichs der Bohrung des ersten Rohrs 72, der dem vorderen Endbereich des zweiten Rohrs 73 entspricht, ist kleiner als diejenige des Abschnitts a-b der Bohrung des ersten Rohrs 72. Die Durchflußrate des Gases ist daher von der Querschnittsfläche des engsten Bereichs der Bohrung des ersten Rohrs 72 um den vorderen Endbereich des zweiten Rohrs 73 herum abhängig, d. h. sie ist dadurch begrenzt. Gewöhnlich wird das Gas mit einem Höchstdruck von 10 kgf/cm² zugeführt. In der Halbleiterbauelement-Herstellungindustrie ist der Höchstdruck eines solchen Gases ca. 7 kgf/cm². Wenn der Außendurchmesser des zweiten Rohrs 73 beispielsweise 3,2 mm ist, ist der Querschnitt eines ringförmigen Raums um den vorderen Endbereich des zweiten Rohrs 73 herum 6,8 mm², und wenn der Zufuhrdruck des Gases 7 kgf/cm² ist, dann ist die Durchflußrate des Gases ca. 200 l/min und die Geschwindigkeit der Flüssigkeitströpfchen 224 m/s.

Theoretisch kann die Geschwindigkeit des Gases in der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 bis auf ca. 330 m/s, also im wesentlichen gleich der Schallgeschwindigkeit, dadurch erhöht werden, daß das Gas mit einer hohen Durchflußrate zugeführt wird, wenn der vordere Endbereich der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 ähnlich dem in Fig. 18 gezeigten Abschnitt a-b gerade ist. Die Geschwindigkeit der Flüssigkeitströpfchen kann jedoch in der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 nicht auf Schallgeschwindigkeit erhöht werden, wenn der maximale Zufuhrdruck des Gases 7 kgf/cm² ist. Da das Reinigungsvermögen von der Geschwindigkeit der Flüssigkeitströpfchen abhängig ist, ist das Reinigungsvermögen der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 gering, wenn der Zufuhrdruck des Gases in dem üblichen Zufuhrdruckbereich liegt.

Wenn der Zufuhrdruck des Gases über die Obergrenze des üblichen Zufuhrdruckbereichs hinaus erhöht wird, erhöht sich die Durchflußrate des Gases, und die Geschwindigkeit der Flüssigkeitströpfchen erhöht sich. Wie oben gesagt wurde, ist jedoch die höchste Geschwindigkeit der Flüssigkeitströpfchen auf die Schallgeschwindigkeit beschränkt. Wenn Eispartikel, die zum Reinigen mittels Eiswäsche eingesetzt werden, und Flüssigkeitströpfchen wie etwa Wassertröpfchen, die für die Zweifluid-Reinigung eingesetzt werden, zum Auftreffen auf eine zu reinigende Oberfläche gebracht werden, ist das Reinigungsvermögen bei der Reinigung mittels Eiswäsche höher als das der Zweifluid-Reinigung, und zwar wegen des Unterschieds der physischen Eigenschaften von Eis und der Flüssigkeit wie etwa Wasser. Da die Geschwindigkeit von Eispartikeln zum Reinigen mittels Eiswäsche maximal bis zur Schallgeschwindigkeit erhöht werden kann, kann das Reinigungsvermögen bei der Zweifluid-Reinigung unter Anwendung der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 dasjenige der Reinigung mittels Eiswäsche nicht übersteigen.

Die in Fig. 19 gezeigte herkömmliche Reinigungsvorrichtung weist die nachstehenden Probleme auf. Der Arbeitstrichter 8 muß eine große Ableitungskapazität haben, was vom Kostenstandpunkt nachteilig ist. Da die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 unter einem Winkel von 60° oder weniger zu der Oberfläche des Halbleiterwafers 5 gehalten wird, um die zufriedenstellende Ableitung der verbrauchten Flüssigkeit und des verbrauchten Gases zu gewährleisten, ist das Reinigungsvermögen der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 ungenügend, und es ist schwierig, das Reinigungsvermögen der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 so zu steuern, daß eine Beschädigung von Mikrostrukturen vermieden wird. Einmal von der Oberfläche des Halbleiterwafers 5 entfernte Verunreinigungen müssen gemeinsam mit den Flüssigkeitströpfchen und dem Gas aus dem Arbeitstrichter 8 durch die Ablaufleitung 9 abgeführt werden, um ein erneutes Anhaften der Verunreinigungen an der Oberfläche des Halbleiterwafers 5 zu verhindern. Daher ist die Ablaufleitung 9 entgegen-gesetzt zu der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 angeordnet, so daß die Flüssigkeitströpfchen und das Gas zufriedenstellend abgeführt werden. Bei der in Fig. 19 gezeigten Reinigungsvorrichtung müssen die Flüssigkeitströpfchen und das Gas mit einer Ableitungsrate von ca. 5 m³/min oder höher abgeführt werden.

Wenn die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 unter einem Winkel von 60° oder größer zu der Oberfläche des Halbleiterwafers 5 angeordnet ist, prallen Strahlen der Flüssigkeitströpfchen und des Gases von der Oberfläche des Halbleiterwafers 5 zurück, und die Flüssigkeit und das Gas werden durch die obere Öffnung des Arbeitstrichters 8 nach oben zerstreut, so daß die bereits von der Oberfläche des Halbleiterwafers 5 entfernten Verunreinigungen erneut an der Oberfläche des Halbleiterwafers 5 haften. Je weiter sich der Auftreffwinkel der Flüssigkeitströpfchen an 90° annähert, um so höher ist das Reinigungsvermögen, und je weiter der Auftreffwinkel der Flüssigkeitströpfchen an 90° angenähert ist, um so geringer ist die Beschädigung von Mikrostrukturen. Von den Flüssigkeitströpfchen auf Mikrostrukturen aufgebrachte Kraft (äußere Kraft) und damit der Grad der Beschädigung von Mikrostrukturen ist von dem Auftreffwinkel der Flüssigkeitströpfchen abhängig. Es ist daher schwierig, die Beschädigung von Mikrostrukturen aufgrund der Verschiedenheit des Auftreffwinkels der einzelnen Flüssigkeitströpfchen auf die Oberfläche des Halbleiterwafers 5 unter Kontrolle zu bringen, wenn die Flüssigkeitströpfchen schräg auf die Oberfläche des Halbleiterwafers 5 ausgestoßen werden.

Diese Probleme treten auch auf, wenn Verunreinigungen, die an Substraten wie Flüssigkristallanzeigepplatten und Photomasken haften, entfernt werden.

Wie vorstehend gesagt wird, ist das Reinigungsvermögen der herkömmlichen Reinigungsvorrichtung für Halbleitermaterialien gering und nicht instande, mikrofeine Staubpartikel zu entfernen. Das Reinigungsvermögen der Reinigungsvorrichtung kann nicht zufriedenstellend gesteuert werden, um eine Beschädigung von Halbleitermaterialien zu mindern.

Aufgabe der Erfindung ist daher die Bereitstellung einer Zweifluid-Reinigungsstrahldüse, die instande ist, auf wirksame Weise an der Oberfläche eines Halbleiterwafers oder dergleichen haftende Verunreinigungen zu entfernen, sowie einer Reinigungsvorrichtung, die diese Zweifluid-Reinigungsstrahldüse verwendet.

Ein Vorteil der Erfindung ist dabei die Bereitstellung einer verbesserten Zweifluid-Reinigungsstrahldüse, die instande ist, mikrofeine Staubpartikel einer Partikelgröße von 1 µm oder kleiner, die an einem Halbleiterwafer oder dergleichen haften, zu entfernen, und die Bereitstellung einer Reinigungsvorrichtung, die diese Zweifluid-Reinigungsstrahldüse verwendet.

Ein weiterer Vorteil der Erfindung ist die Bereitstellung einer verbesserten Zweifluid-Reinigungsstrahldüse, die instande ist, Flüssigkeitströpfchen mit einer Ausstoßgeschwindigkeit abzustrahlen, die höher als die Schallgeschwindigkeit

keit ist, und die Bereitstellung einer Reinigungsvorrichtung, die diese Zweifluid-Reinigungsstrahldüse verwendet.

Ferner ist ein Vorteil der Erfindung die Bereitstellung einer Reinigungsvorrichtung, die mit niedrigen Betriebskosten betrieben werden kann.

Ein weiterer Vorteil der Erfindung ist die Bereitstellung einer verbesserten Zweifluid-Reinigungsstrahldüse, die imstande ist, an der Oberfläche eines Halbleiterwafers oder dergleichen Verunreinigungen auf zufriedenstellende Weise zu entfernen, ohne die Oberfläche des Halbleiterwafers oder dergleichen zu beschädigen, und die Bereitstellung einer Reinigungsvorrichtung, die diese Zweifluid-Reinigungsstrahldüse verwendet.

Gemäß einem Aspekt der Erfindung weist eine Zweifluid-Reinigungsstrahldüse eine Zerstäubungseinheit zum Zerstäuben einer Druckflüssigkeit in Flüssigkeitströpfchen durch ein Druckgas sowie eine Beschleunigungseinheit auf, um die Flüssigkeitströpfchen in die Atmosphäre auszustoßen. Die Querschnittsfläche des engsten Bereichs eines Kanals für das Gas in der Zerstäubungseinheit ist dabei größer als die Querschnittsfläche des engsten Bereichs eines Kanals in der Beschleunigungseinheit.

Nach einem anderen Aspekt der Erfindung hat die Beschleunigungseinheit in der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse ein gerades Rohr, das eine Bohrung mit Kreisquerschnitt hat.

Nach einem anderen Aspekt der Erfindung hat die Beschleunigungseinheit in der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse ein gerades Rohr einer Länge im Bereich von 30 bis 200 mm, das eine Bohrung von 3 mm² oder größer im Querschnitt hat.

Nach einem weiteren Aspekt der Erfindung divergiert bei der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse die Bohrung des geraden Rohrs der Beschleunigungseinheit allmählich von einem Ende, das mit der Zerstäubungseinheit verbunden ist, in Richtung des Ausstoßes der Flüssigkeitströpfchen ähnlich der Bohrung einer Lavalldüse.

Nach einem anderen Aspekt der Erfindung hat bei der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse das gerade Rohr der Beschleunigungseinheit eine Länge in dem Bereich von 30 bis 200 mm und einen Düsenhals mit einer Querschnittsfläche von 3 mm² oder mehr.

Nach einem weiteren Aspekt der Erfindung hat die Zerstäubungseinheit der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse zylindrische Gestalt.

Nach einem anderen Aspekt der Erfindung hat die Zerstäubungseinheit der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse eine Gestalt, die in Richtung zu ihrem mit der Beschleunigungseinheit verbundenen Ende konvergent ist.

Nach einem anderen Aspekt der Erfindung hat die Zerstäubungseinheit der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse ein erstes Rohr zum Leiten des Gases und ein zweites Rohr zum Ausstoßen der Flüssigkeit in das erste Rohr in der Strömungsrichtung des Gases.

Nach einem weiteren Aspekt der Erfindung sind bei der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse die Strömungsrichtung des Gases in dem ersten Rohr und die Strömungsrichtung der Flüssigkeit in dem zweiten Rohr gleich wie eine Richtung, in der die Flüssigkeitströpfchen ausgestoßen werden.

Nach einem anderen Aspekt der Erfindung hat die Zerstäubungseinheit der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse ein erstes Rohr zum Leiten des Gases, ein zweites Rohr, das in dem ersten Rohr angeordnet ist, um die Flüssigkeit auszustoßen, und ein drittes Rohr, das in dem zweiten Rohr angeordnet ist, um das Gas auszustoßen.

Nach einem anderen Aspekt der Erfindung sind bei der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse die Strömungsrichtung des Gases in dem ersten und dem dritten Rohr und die Strömungsrichtung der Flüssigkeit in dem zweiten Rohr gleich wie eine Richtung, in der die Flüssigkeitströpfchen ausgestoßen werden.

Nach einem weiteren Aspekt der Erfindung ist bei der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse die Querschnittsfläche eines Gaseinlasses, durch den das Gas in die Zerstäubungseinheit zugeführt wird, größer als die Querschnittsfläche der Bohrung des Beschleunigungsrohrs.

Nach einem anderen Aspekt der Erfindung weist bei der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse die Beschleunigungseinheit in ihrem vorderen Endbereich ein Leitelement auf, das sich im wesentlichen senkrecht zu der Flüssigkeitströpfchen-Ausstoßrichtung erstreckt.

Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung umfaßt eine Reinigungsvorrichtung folgendes: die oben angegebene Zweifluid-Reinigungsstrahldüse, eine Gaszuführeinrichtung, die mit der Zerstäubungseinheit der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse verbunden ist, um der Zerstäubungseinheit ein Druckgas zuzuführen, und eine Flüssigkeitszuführeinrichtung, die mit der Zerstäubungseinheit der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse verbunden ist, um eine Druckflüssigkeit in die Zerstäubungseinheit zuzuführen.

Nach einem anderen Aspekt der Erfindung ist bei der Reinigungsvorrichtung die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse so angeordnet, daß das Vorderende der Beschleunigungseinheit in einem Abstand im Bereich von 5 bis 50 mm entfernt von der Oberfläche eines zu reinigenden Werkstücks ist.

Nach einem weiteren Aspekt der Erfindung werden in der Reinigungsvorrichtung das Gas und die Flüssigkeit der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse mit einem Druck im Bereich von 1 bis 10 kgf/cm² zugeführt.

Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung wird bei einem Werkstück-Reinigungsverfahren ein Druckgas in eine Zerstäubungseinheit der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse von einer an die Zerstäubungseinheit angeschlossenen Gaszuführeinrichtung zugeführt. Eine Druckflüssigkeit wird von einer mit der Zerstäubungseinheit verbundenen Flüssigkeitszuführeinrichtung in die Zerstäubungseinheit der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse zugeführt. Außerdem wird das mit den Flüssigkeitströpfchen vermischte Gas aus der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse ausgestoßen, so daß es auf das Werkstück auftrifft.

Die Erfindung wird nachstehend auch hinsichtlich weiterer Merkmale und Vorteile anhand der Beschreibung von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen näher erläutert. Die Zeichnungen zeigen in: Fig. 1 eine Schnittdarstellung einer Zweifluid-Reinigungsstrahldüse einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 2 eine typische Ansicht einer Reinigungsvorrichtung, die mit der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse versehen ist, um beispielsweise einen Halbleiterwafer zu reinigen;

Fig. 3 die Beziehung zwischen der Durchflußrate des Gases und dem Zufuhrdruck des Gases für die in Fig. 1 gezeigte Zweifluid-Reinigungsstrahldüse der Erfindung und die in Fig. 18 gezeigte herkömmliche Zweifluid-Reinigungsstrahl-

düse;

Fig. 4 ein Diagramm, das die Beziehung zwischen der Ausstoßgeschwindigkeit von Flüssigkeitströpfchen und dem Zufuhrdruck des Gases für die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse der Erfindung und für die herkömmliche Zweifluid-Reinigungsstrahldüse zeigt;

Fig. 5 ein Diagramm, das die Beziehung zwischen der Ausstoßgeschwindigkeit der Flüssigkeitströpfchen und der Länge des Beschleunigungsrohrs der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse zeigt;

Fig. 6 ein Diagramm, das die Beziehung zwischen dem Reinigungsvermögen der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse, ausgedrückt als Verunreinigungs-Entfernungsverhältnis, und der Ausstoßgeschwindigkeit der Flüssigkeitströpfchen zeigt;

Fig. 7 die Abhängigkeit des Reinigungsvermögens der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse von der Durchflußrate der Flüssigkeit für unterschiedliche Querschnitte der Bohrung des Beschleunigungsrohrs 11 bei einem festgelegten Zufuhrdruck des Gases;

Fig. 8 eine schematische Ansicht zur besseren Erläuterung der Reinigungswirkung eines Flüssigkeitströpfchens, das auf die Oberfläche des Halbleiterwafers ausgestoßen wird;

Fig. 9 ein Diagramm, das die Abhängigkeit des Verunreinigungs-Entfernungsverhältnisses, das für das Reinigungsvermögen steht, von dem Auftreffwinkel von Flüssigkeitströpfchen zeigt;

Fig. 10 ein Diagramm, das die Beziehung zwischen der Partikelgröße und dem Verunreinigungs-Entfernungsverhältnis bei unterschiedlichen Reinigungsverfahren zeigt;

Fig. 11 eine Zweifluid-Reinigungsstrahldüse in einer zweiten Ausführungsform der Erfindung als Längsschnitt;

Fig. 12 eine Zweifluid-Reinigungsstrahldüse in einer dritten Ausführungsform der Erfindung als Längsschnitt;

Fig. 13 eine Zweifluid-Reinigungsstrahldüse in einer vierten Ausführungsform der Erfindung als Längsschnitt;

Fig. 14 einen Längsschnitt einer Zweifluid-Reinigungsstrahldüse in einer fünften Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 15 eine typische Darstellung einer Reinigungsvorrichtung, die mit der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse versehen ist, um beispielsweise Halbleiterwafer zu reinigen;

Fig. 16(a)-(c) Schnittansichten einer Zweifluid-Reinigungsstrahldüse in einer sechsten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 17 eine typische Darstellung einer herkömmlichen Hochdruckstrahl-Reinigungsvorrichtung;

Fig. 18 eine Schnittdarstellung einer herkömmlichen Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70; und

Fig. 19 eine typische Darstellung einer Zweifluid-Reinigungsvorrichtung zum Reinigen von Halbleiterwafern, wobei die herkömmliche Zweifluid-Reinigungsstrahldüse verwendet wird.

Bevorzugte Ausführungsformen werden nachstehend unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben, in denen gleiche Teile mit denselben Bezugszeichen versehen sind.

Erste Ausführungsform

Fig. 1 ist eine Schnittdarstellung einer bevorzugten Ausführungsform einer Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10. Die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 vermischt ein Druckgas und eine Druckflüssigkeit zur Bildung von Flüssigkeitströpfchen und stößt die Flüssigkeitströpfchen in die Atmosphäre auf die Oberfläche eines zu reinigenden Werkstücks aus, um die Werkstücksoberfläche zu reinigen. Die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 hat eine Beschleunigungseinheit A, die mit einem Beschleunigungsrohr 11 zum Beschleunigen von Flüssigkeitströpfchen versehen ist, und eine Zerstäubungseinheit B, die mit einem Zerstäubungsrohr 12 versehen ist, um eine Druckflüssigkeit durch ein Druckgas in Flüssigkeitströpfchen zu zerstäuben. Das Zerstäubungsrohr 12 ist mit einem Gaseinlaß 2 und einem Flüssigkeitseinlaß 3 versehen.

Besondere Merkmale der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 sind das Beschleunigungsrohr 11, durch das Flüssigkeitströpfchen ausgestoßen werden, und das Zerstäubungsrohr 12, in dem das Druckgas und die Druckflüssigkeit vermischt werden. Das Beschleunigungsrohr 11, das einem Abschnitt a-b entspricht, hat die Gestalt eines geradzylindrischen Rohrs einer Länge in dem Bereich von 30 bis 200 mm und hat eine Bohrung mit einer Querschnittsfläche im Bereich von 3 bis 15 mm². Das Zerstäubungsrohr 12, das einem Abschnitt b-c entspricht, hat die Gestalt eines geradzylindrischen Rohrs einer Länge in dem Bereich von 3 bis 50 mm und hat eine Bohrung mit einer Querschnittsfläche im Bereich von 7 bis 100 mm². Der Gaseinlaß 2 des Zerstäubungsrohrs 12 hat eine Querschnittsfläche im Bereich von 7 bis 200 mm², und der Flüssigkeitseinlaß 3 desselben hat eine Querschnittsfläche im Bereich von 0,01 bis 20 mm².

Bei der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 der ersten Ausführungsform hat der Abschnitt a-b des Beschleunigungsrohrs 11 eine Länge von 100 mm und eine Bohrung mit einer Querschnittsfläche von 7 mm², und der Abschnitt b-c des Zerstäubungsrohrs 12 hat eine Länge von 30 mm und eine Bohrung mit einer Querschnittsfläche von 20 mm². Die Querschnittsflächen des Gaseinlasses 2 bzw. des Flüssigkeitseinlasses 3 sind 15 mm² bzw. 5 mm².

Fig. 2 ist eine charakteristische Ansicht einer Reinigungsvorrichtung, die mit der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 ausgestattet ist, um beispielsweise einen Halbleiterwafer zu reinigen. Die Reinigungsvorrichtung entfernt Verunreinigungen, die an der Oberfläche eines Halbleiterwafers 5 haften. Die Reinigungsvorrichtung hat eine Gaszufuhreinheit 2a und eine Flüssigkeitszufuhreinheit 3a, die mit der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 verbunden sind, um ein Gas bzw. eine Flüssigkeit in die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 zuzuführen. Die Reinigungsvorrichtung hat ferner einen Tisch 6, um darauf den Halbleiterwafer 5 fest zu halten, einen Motor 7, um den Tisch 6 drehanzutreiben, einen Arbeitsrichter 8, um ein Streuen von Flüssigkeitströpfchen zu verhindern, eine Ablaufleitung 9, die mit dem Arbeitstrichter 8 verbunden ist, und einen Roboter mit einem Roboterarm 4, um die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 zu halten und zu bewegen.

Der Reinigungsbetrieb der Reinigungsvorrichtung wird nachstehend beschrieben. Der Halbleiterwafer 5 wird auf dem Tisch 6 fest angebracht, und der Motor 7 wird aktiviert, um den Tisch 6 mit einer vorbestimmten Drehgeschwindigkeit zu drehen. Ein von der Gaszufuhreinheit 2a zugeführtes Druckgas und eine von der Flüssigkeitszufuhreinheit 3a zugeführte Druckflüssigkeit strömen durch den Gaseinlaß 2 bzw. den Flüssigkeitseinlaß 3 in das Zerstäubungsrohr 12 der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10. Das Gas und die Flüssigkeit werden in einer Zerstäubungseinheit B, d. h. dem Abschnitt b-c

des Zerstäubungsrohrs 12, der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 vermischt, und die Flüssigkeit wird zu Flüssigkeitströpfchen 1 zerstäubt oder umgewandelt. Die Flüssigkeitströpfchen 1 werden von dem Gas in einer Beschleunigungseinheit A, d. h. dem Abschnitt a-b des Beschleunigungsrohrs 11 der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 beschleunigt. Die Flüssigkeitströpfchen 1 werden weiter in noch kleinere Flüssigkeitströpfchen zerstäubt, während sie in der Beschleunigungseinheit A, d. h. in dem Abschnitt a-b des Beschleunigungsrohrs 11, beschleunigt werden, und die sehr kleinen Flüssigkeitströpfchen 1 werden durch das Vorderende der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 ausgestoßen.

Die aus der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 ausgestoßenen Flüssigkeitströpfchen 1 treffen auf die Oberfläche des Halbleiterwafers 5 auf, wie Fig. 2 zeigt, um Verunreinigungen zu entfernen, die an der Oberfläche des Halbleiterwafers 5 haften. Auf diese Weise von der Oberfläche des Halbleiterwafers 5 entfernte Verunreinigungen, die Flüssigkeitströpfchen 1, die auf die Oberfläche des Halbleiterwafers 5 aufgetroffen und davon zerstreut worden sind, und das aus der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 ausgestoßene Gas werden von dem Arbeitstrichter 8 durch den Ablaufkanal 9 abgeführt. Der Roboterarm 4, der die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 hält, bewegt diese horizontal entlang der Oberfläche des Halbleiterwafers 5, um die gesamte Oberfläche des Halbleiterwafers 5 zu reinigen.

Fig. 3 zeigt die Beziehung zwischen der Durchflußrate des Gases und dem Zufuhrdruck des Gases für die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10, die in Fig. 1 gezeigt ist (Kurve 3-1) sowie die herkömmliche Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70, die in Fig. 18 gezeigt ist (Kurve 3-2). Bei der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 der Erfindung hat die Beschleunigungseinheit A einen Innendurchmesser von 3 mm (eine Bohrung mit einer Querschnittsfläche von 7 mm^2), und die Bohrung der Zerstäubungseinheit B hat eine Querschnittsfläche von 20 mm^2 . Bei der herkömmlichen Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 hat das erste Rohr 72 einen Innendurchmesser von 4,35 mm (eine Bohrung mit einer Querschnittsfläche von 15 mm^2), das zweite Rohr 73 hat einen Außendurchmesser von 6,8 mm, und die Querschnittsfläche des ringförmigen Raums zwischen dem Innenumfang des ersten Rohrs 72 und dem Außenumfang des vorderen Endbereichs des zweiten Rohrs 73 ist $6,8 \text{ mm}^2$.

Wie aus Fig. 3 hervorgeht, ist die Durchflußrate des durch die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 der Erfindung strömenden Gases höher als diejenige des Gases, das durch die herkömmliche Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 strömt, und zwar bei gleichem Zufuhrdruck des Gases. Es wird gefolgert, daß bei der herkömmlichen Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 die Querschnittsfläche des ringförmigen Raums zwischen dem Innenumfang des geraden ersten Rohrs 72 und dem Außenumfang des vorderen Endbereichs des zweiten Rohrs 73 kleiner als die Querschnittsfläche des Bereichs der Bohrung des ersten Rohrs 72 in dem Abschnitt a-b ist, so daß die Durchflußrate des durch das erste Rohr 72 strömenden Gases durch die Querschnittsfläche des ringförmigen Raums begrenzt ist.

Das Diagramm von Fig. 4 zeigt die Beziehung zwischen der Ausstoßgeschwindigkeit von Flüssigkeitströpfchen und dem Zufuhrdruck des Gases für die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 der Erfindung (Kurve 4-1) und für die herkömmliche Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 (Kurve 4-2). Wie aus Fig. 4 ersichtlich ist, ist die Ausstoßgeschwindigkeit von Flüssigkeitströpfchen, die aus der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 der Erfindung ausgestoßen werden, höher als die von Flüssigkeitströpfchen, die aus der herkömmlichen Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 ausgestoßen werden, und zwar bei gleichem Zufuhrdruck des Gases.

Es sei angenommen, daß der vordere Endbereich der herkömmlichen Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 einen Innendurchmesser von 4,35 mm hat (15 mm^2 Querschnittsfläche der Bohrung des entsprechenden Bereichs) und der vordere Endbereich des Beschleunigungsrohrs 11 der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 der Erfindung einen Innendurchmesser von 3 mm (7 mm^2 Querschnittsfläche der Bohrung des entsprechenden Bereichs) hat. Dann erreicht die Ausstoßgeschwindigkeit der aus der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 ausgestoßenen Flüssigkeitströpfchen die Schallgeschwindigkeit, wenn der Zufuhrdruck des Gases ca. 3 kgf/cm^2 ist, wogegen die Ausstoßgeschwindigkeit der Flüssigkeitströpfchen, die aus der herkömmlichen Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 ausgestoßen werden, 224 m/s ist, wenn der Zufuhrdruck des Gases 7 kgf/cm^2 ist. Der Zufuhrdruck des Gases muß 10 kgf/cm^2 oder darüber sein, um die Flüssigkeitströpfchen mit der Schallgeschwindigkeit aus der herkömmlichen Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 auszustoßen. Die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 ist daher imstande, die Flüssigkeitströpfchen mit einer relativ hohen Ausstoßgeschwindigkeit durch das Gas mit einem relativ niedrigen Zufuhrdruck auszustoßen.

Das Diagramm von Fig. 5 zeigt die Beziehung zwischen der Ausstoßgeschwindigkeit der Flüssigkeitströpfchen und der Länge des Abschnitts A der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10, d. h. der Länge des Abschnitts a-b des Beschleunigungsrohrs 11. Wie aus Fig. 5 zu sehen ist, ist die Ausstoßgeschwindigkeit relativ niedrig, wenn die Länge des Abschnitts A 30 mm oder weniger ist, weil die Länge des Abschnitts A nicht groß genug ist, um die in der Zerstäubungseinheit B erzeugten Flüssigkeitströpfchen 1 auf eine hinreichend hohe Geschwindigkeit durch das Gas zu beschleunigen. Die Ausstoßgeschwindigkeit der Flüssigkeitströpfchen 1 nimmt mit zunehmender Länge der Beschleunigungseinheit A der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 ab, wenn die Länge der Beschleunigungseinheit A 200 mm überschreitet, weil der Widerstand der Beschleunigungseinheit A gegen den Strom der Flüssigkeitströpfchen 1 hoch ist, wenn die Beschleunigungseinheit A zu lang ist. Daher liegt eine zweckmäßige Länge der Beschleunigungseinheit A der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 im Bereich von 30 bis 200 mm.

Das Diagramm von Fig. 6 zeigt die Beziehung zwischen dem Reinigungsvermögen der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10, ausgedrückt durch das Verunreinigungs-Entfernungsverhältnis, und der Ausstoßgeschwindigkeit der Flüssigkeitströpfchen. Wie aus Fig. 6 zu sehen ist, nimmt das Reinigungsvermögen der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 proportional zu der Ausstoßgeschwindigkeit der Flüssigkeitströpfchen zu.

Fig. 7 zeigt die Abhängigkeit des Reinigungsvermögens der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 von der Durchflußrate der Flüssigkeit bei unterschiedlichen Querschnittsflächen von 3 mm^2 (Kurve 7-1), 5 mm^2 (Kurve 7-2) und 7 mm^2 (Kurve 7-3) der Bohrung des Beschleunigungsrohrs 11 der Beschleunigungseinheit A und bei einem unveränderten Zufuhrdruck des Gases. Da der Zufuhrdruck des Gases festgelegt ist, ist die Durchflußrate des Gases hoch, wenn die Querschnittsfläche der Bohrung des Beschleunigungsrohrs 11 groß ist.

Wie aus Fig. 7 hervorgeht, ist das Reinigungsvermögen gering, wenn die Durchflußrate der Flüssigkeit relativ gering ist, weil die Zahl der Flüssigkeitströpfchen klein und daher der Reinigungs-Wirkungsgrad niedrig ist, wenn die Durchflußrate der Flüssigkeit niedrig ist. Unter den vorstehenden Bedingungen muß die Durchflußrate der Flüssigkeit 100 ml/

min oder darüber sein, um ein ausreichend großes Verunreinigungs-Entfernungsverhältnis zu erreichen. Das Reinigungs-
vermögen nimmt mit zunehmender Durchflußrate der Flüssigkeit über einen bestimmten Grenzwert hinaus ab, weil das
mit einer Strömungsrate strömende Gas eine begrenzte Anzahl Flüssigkeitströpfchen beschleunigen kann, und somit
können Flüssigkeitströpfchen nicht auf eine ausreichend hohe Ausstoßgeschwindigkeit beschleunigt werden, wenn die
Flüssigkeit mit einer übermäßig hohen Durchflußrate zugeführt wird.

Wenn die Querschnittsfläche der Bohrung des Beschleunigungsrohrs 11 der Beschleunigungseinheit A relativ klein ist,
ist die Durchflußrate des Gases relativ niedrig, und daher können Flüssigkeitströpfchen nur dann zufriedenstellend be-
schleunigt werden, wenn die Flüssigkeit mit einer relativ niedrigen Durchflußrate zugeführt wird, und das Verunrei-
gungs-Entfernungsverhältnis ist klein. Wenn die Querschnittsfläche der Bohrung des Beschleunigungsrohrs 11 der Be-
schleunigungseinheit A relativ groß ist, ist die Durchflußrate des Gases relativ hoch, und daher können Flüssigkeitströpf-
chen auch dann zufriedenstellend beschleunigt werden, wenn die Flüssigkeit mit relativ hoher Durchflußrate zugeführt
wird, und das Verunreinigungs-Entfernungsverhältnis ist groß. Wenn aber die Querschnittsfläche der Bohrung des Be-
schleunigungsrohrs 11 übermäßig groß ist, muß das Gas mit einer sehr hohen Durchflußrate zugeführt werden, und die
Betriebskosten erhöhen sich, was wirtschaftlich nachteilig ist. Wenn die Durchflußrate des Gases hoch ist, muß der Ar-
beitsstrichter 8 mit hoher Ableitrate entleert werden, wodurch die Betriebskosten ebenfalls in wirtschaftlich nachteiliger
Weise steigen.

Unter Beachtung der vorstehenden Bedingungen ist eine vorteilhafte Querschnittsfläche der Bohrung des Beschleuni-
gungsrohrs 11 3 mm^2 oder mehr und in der Praxis im Bereich von ca. 3 bis ca. 15 mm^2 . Experimente haben gezeigt, daß
eine optimale Querschnittsfläche der Bohrung des Beschleunigungsrohrs 11 ca. 7 mm^2 ist. Bevorzugt ist das Beschleu-
nigungsrohr 11 der Beschleunigungseinheit A ein gerades zylindrisches Rohr, das dem Durchfluß von Fluiden einen re-
lativ geringen Widerstand entgegensezt.

Die Querschnittsfläche der Bohrung des Zerstäubungsrohrs 12 der Zerstäubungseinheit B muß größer als die der Boh-
rung des Beschleunigungsrohrs 11 der Beschleunigungseinheit A sein. Wenn die Querschnittsfläche der Bohrung des
Zerstäubungsrohrs 12 kleiner als die der Bohrung des Beschleunigungsrohrs 11 ist, wird die Durchflußrate des in die Zerst-
äubungseinheit B strömenden Gases verringert, und die Flüssigkeitströpfchen können nicht auf eine ausreichend hohe
Ausstoßgeschwindigkeit beschleunigt werden, um der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 ein zufriedenstellend hohes
Reinigungsvermögen zu verleihen. Wenn die Querschnittsfläche des Zerstäubungsrohrs 12 der Zerstäubungseinheit B
übermäßig groß ist, kann die Flüssigkeit nicht zufriedenstellend zerstäubt werden, was den Reinigungs-Wirkungsgrad
verringert. Wenn das Zerstäubungsrohr 12 der Zerstäubungseinheit B übermäßig kurz ist, können Flüssigkeitströpfchen
nicht auf eine ausreichend hohe Geschwindigkeit beschleunigt werden, und die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 ist
nicht imstande, ein zufriedenstellendes Reinigungsvermögen aufzubringen. Wenn das Zerstäubungsrohr 12 der Zerst-
äubungseinheit B übermäßig lang ist, ist der Widerstand des Zerstäubungsrohrs 12 gegen den Durchfluß der Fluide hoch,
wodurch die Durchflußrate des Gases verringert wird, so daß die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 nicht imstande ist,
ein ausreichendes Reinigungsvermögen aufzubringen.

Im Hinblick auf diese Tatsachen muß daher die Querschnittsfläche der Bohrung des Zerstäubungsrohrs 12 der Zerst-
äubungseinheit B größer als 3 mm^2 sein, was die Untergrenze für die Querschnittsfläche der Bohrung des Beschleuni-
gungsrohrs 11 der Beschleunigungseinheit A ist. In der Praxis liegt die zweckmäßige Querschnittsfläche der Bohrung des
Zerstäubungsrohrs 12 im Bereich von 3 bis 200 mm^2 , und eine zweckmäßige Länge des Zerstäubungsrohrs 12 liegt im
Bereich von 3 bis 50 mm. Bevorzugt ist das Zerstäubungsrohr 12 der Zerstäubungseinheit B ein Zylinderrohr, das dem
Durchfluß von Fluiden einen relativ geringen Widerstand entgegensezt.

Die Querschnittsfläche des Gaseinlasses 2 des Zerstäubungsrohrs 12 der Zerstäubungseinheit B muß größer als die
Querschnittsfläche der Bohrung des Beschleunigungsrohrs 11 der Beschleunigungseinheit A sein, um eine Herabsetzung
der Durchflußrate des Gases zu vermeiden, und muß aus strukturellen Gründen gleich wie oder kleiner als die Quer-
schnittsfläche des Zerstäubungsrohrs 12 sein. Daher darf die Querschnittsfläche des Gaseinlasses 2 nicht kleiner als
 3 mm^2 sein, was die Untergrenze des zweckmäßigen Querschnittsflächenbereichs für das Beschleunigungsrohr 11 der
Beschleunigungseinheit A ist. Eine für die Praxis geeignete Querschnittsfläche des Gaseinlasses 2 ist im Bereich von 7
bis 200 mm^2 .

Die Querschnittsfläche des Flüssigkeitseinlasses 3 muß ausreichend groß sein, um der Flüssigkeit zu erlauben, mit ei-
ner Durchflußrate von ca. 100 ml/min oder höher zu strömen, was erforderlich ist, um ein zufriedenstellend großes Ver-
unreinigungs-Entfernungsverhältnis zu gewährleisten. Theoretisch ist eine erwünschte Querschnittsfläche des Flüssig-
keitseinlasses 3 $0,04 \text{ mm}^2$ oder größer. Es ist erwünscht, daß die Querschnittsfläche des Flüssigkeitseinlasses 3 nicht
übergroß ist, um die Flüssigkeit in dem Zerstäubungsrohr 12 der Zerstäubungseinheit B zufriedenstellend zu zerstäuben
und die Flüssigkeitströpfchen mit einer ausreichend hohen Ausstoßgeschwindigkeit auszustoßen. In der Praxis ist eine
erwünschte Querschnittsfläche des Flüssigkeitseinlasses 3 in dem Bereich von $0,04$ bis 20 mm^2 .

Der Betrieb und das Grundkonzept der Wirkung der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 werden unter Bezugnahme
auf Fig. 8 beschrieben. Fig. 8 ist eine schematische Ansicht zur Unterstützung der Erläuterung der Reinigungswirkung
eines Flüssigkeitströpfchens 1, das auf die Oberfläche des Halbleiterwafers 5 ausgestoßen wird. Beim Auftreffen eines
Flüssigkeitströpfchens 1 mit einer Geschwindigkeit V_0 auf der Oberfläche des Halbleiterwafers 5, wie Fig. 8(a) zeigt,
bringt das Flüssigkeitströpfchen 1 einen Pralldruck P auf die Oberfläche des Halbleiterwafers 5 auf, wie Fig. 8(b) zeigt.
Dann bewirkt der Pralldruck P, daß das Flüssigkeitströpfchen 1 in einer horizontalen radialen Strömung mit einer Ge-
schwindigkeit V_f strömt, wie Fig. 8(c) zeigt. Infolgedessen verformt sich das Flüssigkeitströpfchen 1 zu einer Gestalt
entsprechend Fig. 8(d), um eine Verunreinigung durch den Pralldruck P oder das radiale Strömen V_f zu entfernen.

Der Pralldruck P wird wie folgt geschrieben:

1

$$P = \frac{1}{2} \alpha \rho_L C_L V_0 \quad \dots \dots \dots (1)$$

2

mit V_0 = die Auftreffgeschwindigkeit des Flüssigkeitströpfchens, d. h. seine Geschwindigkeit beim Auftreffen auf die Oberfläche des Halbleiterwafers 5, ρ_L = die Dichte der Flüssigkeit, C_L = die Schallgeschwindigkeit in der Flüssigkeit, und α = ein Reduktionskoeffizient, der ausgedrückt wird als:

0,41

$$\alpha = \frac{0,41}{1 + 0,59 (\rho_L C_L / \rho_s C_s)} \quad \dots \dots \dots (2)$$

mit ρ_s = die Dichte des Halbleiterwafers 5 und C_s = die Schallgeschwindigkeit in dem Halbleiterwafer. Die Geschwindigkeit V_f der radialen Strömung wird geschrieben als:

$$V_f = (\alpha C_L V_0)^{1/2} \quad (3)$$

Es sei angenommen, daß die an der Oberfläche des Halbleiterwafers 5 haftende Verunreinigung ein kugelförmiges Partikel ist. Dann wird eine äußere Kraft (die Partikelentfernungskraft oder Reinigungskraft) D wie folgt geschrieben:

$$D = C_D \frac{\rho_L \pi}{2} V_f^2 \frac{\pi}{4} d^2 \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$D = C_D P \frac{\pi}{4} d^2 \quad \dots \dots \dots (5)$$

mit C_D = der Widerstandsbeiwert und d = der Durchmesser des kugelförmigen Partikels. Obwohl von der Form her verschieden, sind die Gleichungen (4) und (5) effektiv äquivalent.

Aus den Gleichungen (1) und (5) ist bekannt, daß die Reinigungskraft D zu der Auftreffgeschwindigkeit V_0 des Flüssigkeitströpfchens proportional ist, und daher kann die Reinigungskraft D durch Erhöhen der Auftreffgeschwindigkeit V_0 erhöht werden.

Die Reinigungskraft D ist nicht von der Partikelgröße des Flüssigkeitströpfchens 1 abhängig. Die Fläche, die von dem auf die Oberfläche des Halbleiterwafers 5 auftreffenden Flüssigkeitströpfchens bedeckt wird, ist von der Partikelgröße des Flüssigkeitströpfchens 1 abhängig. Die von dem Flüssigkeitströpfchen bedeckte Fläche wirkt sich auf das Verunreinigungs-Entfernungsverhältnis aus. Wenn die Flüssigkeit mit einer fest vorgegebenen Zuführrate zugeführt und in kleine Flüssigkeitströpfchen 1 zerstäubt wird, erhöht sich die Anzahl der Flüssigkeitströpfchen 1 umgekehrt proportional zur dritten Potenz der Teilchengröße der Flüssigkeitströpfchen, und die von einem Flüssigkeitströpfchen beim Auftreffen bedeckte Fläche nimmt proportional zum Quadrat der Teilchengröße ab. Infolgedessen erhöht sich die Gesamtauftriebsfläche von Flüssigkeitströpfchen, wodurch die Reinigungswirkung verstärkt wird.

Dieses Modell gilt auch für die Analyse des Verhaltens von Eispartikeln beim herkömmlichen Reinigen durch Waschen mit Eis. Da die Schallgeschwindigkeit C_L in Eispartikeln höher als in einer Flüssigkeit wie etwa Wasser ist, ist die Reinigungskraft von Eispartikeln größer als die von Flüssigkeitströpfchen unter der Voraussetzung, daß die jeweiligen Auftreffgeschwindigkeiten von Eispartikeln und Flüssigkeitströpfchen einander gleich sind.

In dem vorstehenden Modell wird davon ausgegangen, daß die Flüssigkeitströpfchen 1 auf die Oberfläche des Halbleiterwafers 5 in einer zu der Oberfläche des Halbleiterwafers 5 senkrechten Richtung auftreffen. Die Flüssigkeitströpfchen 1 treffen jedoch bei einem in der Praxis durchgeführten Reinigungsvorgang auf die Oberfläche des Halbleiterwafers 5 unter einem Winkel auf. Daher werden die Gleichungen (4) und (5) wie folgt modifiziert:

$$D = C_p \frac{\rho L}{2} \frac{\pi}{4} v f^2 d^2 \sin(\theta) \dots\dots\dots (6)$$

$$D = C_p P \frac{\pi}{4} d^2 \sin(\theta) \dots\dots\dots (7)$$

mit Θ = Auftreffwinkel der Flüssigkeitströpfchen 1, d. h. der Winkel zwischen der Oberfläche des Halbleiterwafers 5 und der Auftreffrichtung der Flüssigkeitströpfchen 1 auf der Oberfläche des Halbleiterwafers 5.

Das Diagramm von Fig. 9 zeigt die Abhängigkeit des Verunreinigungs-Entfernungsverhältnisses, ausgedrückt als Reinigungsvermögen, von dem Auftreffwinkel von Flüssigkeitströpfchen. Wie aus Fig. 9 zu sehen ist, wird das Verunreinigungs-Entfernungsverhältnis größer, während der Auftreffwinkel von 0° gegen 90° größer wird.

Das Diagramm von Fig. 10 zeigt die Beziehung zwischen der Partikelgröße und dem Verunreinigungs-Entfernungsverhältnis für verschiedene Reinigungsmethoden, d. h. ein Reinigungungsverfahren unter Anwendung der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 der Erfindung (Kurve 10-1), ein Reinigungungsverfahren unter Anwendung der herkömmlichen Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 (Kurve 10-2) und ein Hochdruck-Reinigungsverfahren unter Anwendung einer herkömmlichen Hochdruckstrahldüse (Kurve 10-3). Die Wirkung der herkömmlichen Reinigungsmethode durch Eiswäsche ist im wesentlichen dieselbe wie die des Reinigungsverfahrens unter Anwendung der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 der Erfindung, was durch die Kurve 10-1 in Fig. 10 bezeichnet ist. Wie Fig. 10 zeigt, ist das Hochdruckreinigungsverfahren nicht imstande, Partikel einer Größe von $1 \mu\text{m}$ oder kleiner zu entfernen, wie die Kurve 10-3 zeigt. Das Reinigungungsverfahren unter Anwendung der herkömmlichen Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 zeigt zwar ein Reinigungsvermögen entsprechend der Kurve 10-2, das höher als das des Hochdruckreinigungsverfahrens ist, es ist aber nicht imstande, Partikel einer Größe von $0,1 \mu\text{m}$ zu entfernen. Wie die Kurve 10-1 zeigt, ist das Reinigungungsverfahren unter Anwendung der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 der Erfindung imstande, Partikel einer Teilchengröße von nicht größer als $0,1 \mu\text{m}$ zu entfernen.

Diese Ausführungsform wurde zwar unter Anwendung auf das Reinigen eines Halbleiterwafers erläutert, aber sie ist zum Entfernen von Verunreinigungen anwendbar, die an den Oberflächen von Flüssigkristallplatten, Photomasken, die auf einem Substrat gebildet sind, und dergleichen haften.

Zweite Ausführungsform

Fig. 11 zeigt eine Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 20 einer zweiten Ausführungsform als Längsschnittdarstellung. Die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 20 hat eine Beschleunigungseinheit A, die mit einem Beschleunigungsrohr 21 versehen ist, und eine Zerstäubungseinheit B, die mit einem Zerstäubungsrohr 22 versehen ist, in dem eine Druckflüssigkeit von einem Druckgas zu Flüssigkeitströpfchen zerstäubt wird. Das Zerstäubungsrohr 22 ist mit einem Gaseinlaß 2, durch den das Druckgas in das Zerstäubungsrohr eingeleitet wird, sowie mit einem Flüssigkeitszuführrohr 23 versehen, das einen vorderen Endbereich hat, der durch die Wand des Zerstäubungsrohrs 22 in das Zerstäubungsrohr 22 eingesetzt ist und sich koaxial mit dem Zerstäubungsrohr 22 erstreckt und einen Flüssigkeitsauslaß 3 hat.

Bei der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 20 hat ein Abschnitt c-d der Zerstäubungseinheit B, der einem Abschnitt b-d entspricht, eine Doppelrohrkonstruktion, bestehend aus einem Bereich des Zerstäubungsrohrs 22 und dem vorderen Endbereich des Flüssigkeitszuführrohrs 23. Diese Doppelrohrkonstruktion ist ähnlich wie die der herkömmlichen Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70. Die vorliegende Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 20 unterscheidet sich jedoch von der herkömmlichen Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 dadurch, daß ein Bereich des Zerstäubungsrohrs 22, der dem Abschnitt c-d entspricht, erweitert ist, so daß die Querschnittsfläche eines ringförmigen Raums zwischen demselben Bereich des Zerstäubungsrohrs 22 und dem vorderen Endbereich des Flüssigkeitszuführrohrs 23 größer als diejenige der Bohrung des Beschleunigungsrohrs 21 entsprechend einem Abschnitt a-b ist und ein Bereich des Zerstäubungsrohrs 22 entsprechend einem Abschnitt b-c in Richtung zu dem Beschleunigungsrohr 21 konisch verjüngt ist. Daher wird die Geschwindigkeit des Druckgases in dem Ringraum zwischen demselben Bereich des Zerstäubungsrohrs 22 und dem vorderen Endbereich des Flüssigkeitszuführrohrs 23 weder verringert noch begrenzt. Somit kann das Gas mit einer hohen Durchflußrate strömen, um die Flüssigkeitströpfchen selbst dann mit ausreichend hoher Ausstoßgeschwindigkeit auszustoßen, wenn das Gas mit einem Zufuhrdruck zugeführt wird, der niedriger als derjenige ist, mit dem das Gas der herkömmlichen Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 zugeführt wird, und somit ist das Reinigungsvermögen der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 20 höher als das der herkömmlichen Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70.

Die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 20 hat das weitere Merkmal, daß ein Bereich des Zerstäubungsrohrs 22, der dem Abschnitt b-c entspricht, in Richtung zu der Verbindung zwischen dem Beschleunigungsrohr 21 und dem Zerstäubungsrohr 22 konisch ist. Daher wird die Geschwindigkeit des Gases in dem konischen Bereich des Zerstäubungsrohrs 22 allmählich in Richtung zu dem Beschleunigungsrohr 21 höher, ohne daß Verluste infolge des Widerstands des Durchlasses auftreten. Die Flüssigkeit, die durch den Flüssigkeitsauslaß in das Zerstäubungsrohr 22 ausgestoßen wird, wird zu Flüssigkeitströpfchen 1 zerstäubt, und die Flüssigkeitströpfchen 1 werden allmählich durch den Gasstrom beschleunigt, und die Flüssigkeitströpfchen 1 werden weiter zerstäubt. Daher ist die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 20 imstande, die Flüssigkeit in kleinere Flüssigkeitströpfchen 1 zu zerstäuben und die Flüssigkeitströpfchen 1 mit höherer Ausstoßgeschwin-

digkeit als die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 der in Fig. 1 gezeigten ersten Ausführungsform auszustoßen. Daher ist das Reinigungsvermögen der zweiten Ausführungsform der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 20 höher als das der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 der ersten Ausführungsform.

Bei der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 20 der zweiten Ausführungsform hat das Beschleunigungsrohr 21 der Beschleunigungseinheit A (Abschnitt a-b) eine Länge von 100 mm und eine Bohrung mit einer Querschnittsfläche von 7 mm², das Zerstäubungsrohr 22 der Zerstäubungseinheit B (Abschnitt b-d) hat den Abschnitt b-c mit einer Länge von 20 mm und den Abschnitt c-d mit einer Länge von 20 mm, die Querschnittsfläche des ringförmigen Raums zwischen dem Innenumfang des Abschnitts c-d des Zerstäubungsrohrs 22 und dem Außenumfang des vorderen Endbereichs des Flüssigkeitszuführrohrs 22 ist 20 mm², die Querschnittsfläche des Gaseinlasses 2 ist 20 mm², die Querschnittsfläche des Flüssigkeitsauslasses 3 ist 3 mm², das Zerstäubungsrohr 22 und das Flüssigkeitszuführrohr 23 sind zylindrische Rohre, und der vordere Endbereich des Flüssigkeitszuführrohrs 23 ist koaxial mit dem Zerstäubungsrohr 22 so angeordnet, daß seine äußerste Spitze an einer einem Bereich c entsprechenden Position angeordnet ist.

Die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 20 ist imstande, die Flüssigkeit in mikrofeine Flüssigkeitströpfchen zu zerstäuben, die Flüssigkeitströpfchen mit hoher Ausstoßgeschwindigkeit auszustoßen und einen hohen Reinigungs-Wirkungsgrad zu erreichen.

Dritte Ausführungsform

Fig. 12 zeigt eine Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 30 der dritten Ausführungsform als Längsschnitt.

Die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 30 hat eine Beschleunigungseinheit A (Abschnitt a-b) mit einem Beschleunigungsrohr 31 sowie eine Zerstäubungseinheit B (Abschnitt b-d) mit einem Zerstäubungsrohr 32, in dem eine Druckflüssigkeit von einem Druckgas in Flüssigkeitströpfchen zerstäubt wird. Das Zerstäubungsrohr 32 ist mit einem Gaseinlaß 2 versehen, durch den das Druckgas in das Zerstäubungsrohr 32 geleitet wird, und ein Flüssigkeitszuführrohr 33, das einen vorderen Endbereich hat, der durch die Wand des Zerstäubungsrohrs 32 in dieses eingesetzt ist, verläuft koaxial mit dem Zerstäubungsrohr 32 und hat einen Flüssigkeitsauslaß 3. Ein Gaszuführrohr 34 erstreckt sich koaxial mit dem Flüssigkeitszuführrohr 33 in das Flüssigkeitszuführrohr 33. Somit hat die Zerstäubungseinheit B eine Dreifachrohr-Konstruktion. Die Formen eines Abschnitts b-c der Zerstäubungseinheit B und der Beschleunigungseinheit A (Abschnitt a-b) sind die gleichen wie die der entsprechenden Bereiche der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 20 der zweiten Ausführungsform von Fig. 11.

Bei der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 30 hat ein Abschnitt c-d der Zerstäubungseinheit B (ein Abschnitt b-d) einen Bereich des Zerstäubungsrohrs 32, durch den das Gas zum Zerstäuben der Flüssigkeit strömt, einen vorderen Endbereich des Flüssigkeitszuführrohrs 33, der durch die Wand des Zerstäubungsrohrs 32 in die Bohrung des Zerstäubungsrohrs 32 eingesetzt ist, um die Flüssigkeit in das Zerstäubungsrohr 32 zuzuführen, und einen vorderen Endbereich des Gaszuführrohrs 34, der durch die Wand des Flüssigkeitszuführrohrs 33 in die Bohrung des Flüssigkeitszuführrohrs 33 eingesetzt ist, um das Gas in das Zerstäubungsrohr 32 zuzuführen. Die vorderen Endbereiche des Flüssigkeitszuführrohrs 33 und des Gaszuführrohrs 34 erstrecken sich mit ihren Achsen parallel zu der Achse des Zerstäubungsrohrs 32.

Ein Bereich des Zerstäubungsrohrs 32, der dem Abschnitt c-d ähnlich dem entsprechenden Bereich der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 20 der ersten Ausführungsform entspricht, ist erweitert, so daß die Querschnittsfläche einem ringförmigen Raums zwischen demselben Bereich des Zerstäubungsrohrs 32 und dem vorderen Endbereich des Flüssigkeitszuführrohrs 33 größer als diejenige der Bohrung des Beschleunigungsrohrs 31 entsprechend einem Abschnitt a-b ist. Die durch das Flüssigkeitszuführrohr 33 zugeführte Flüssigkeit wird von dem durch das Gaszuführrohr 34 zugeführten Gas im Bereich des äußersten Endes des Gaszuführrohrs 34 zu Flüssigkeitströpfchen zerstäubt, und diese werden von dem Gas in dem Zerstäubungsrohr 32 weiter zu noch kleineren Flüssigkeitströpfchen zerstäubt.

Daher ist die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 30 imstande, die Flüssigkeit in Flüssigkeitströpfchen zu zerstäuben, die kleiner als diejenigen sind, die von der in Fig. 1 gezeigten Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 oder der in Fig. 11 gezeigten Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 20 zerstäubt werden, und ist imstande, die Flüssigkeitströpfchen mit hoher Ausstoßgeschwindigkeit auszustoßen. Insbesondere sind die jeweiligen Partikelgrößen der Tröpfchen, die von der herkömmlichen Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70, der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 der in Fig. 1 gezeigten ersten Ausführungsform, der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 20 der in Fig. 11 gezeigten zweiten Ausführungsform und der in Fig. 12 gezeigten dritten Ausführungsform der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 30 zerstäubt werden, ca. 20 µm, ca. 10 µm, ca. 5 µm bzw. ca. 2 µm. Daher ist das Reinigungsvermögen der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 30 der dritten Ausführungsform höher als das der herkömmlichen Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 und der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 oder 20 gemäß den Fig. 1 oder 11.

Vierte Ausführungsform

Fig. 13 zeigt eine Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 40 einer vierten Ausführungsform in einem Längsschnitt.

Die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 40 hat eine Beschleunigungseinheit A (Abschnitt a-b) mit einem Beschleunigungsrohr 41 in Form einer Lavalldüse und eine Zerstäubungseinheit B (Abschnitt b-d) mit einem Zerstäubungsrohr 42, in dem eine Druckflüssigkeit von einem Druckgas zerstäubt wird. Das Zerstäubungsrohr 42 ist mit einem Gaseinlaß 2 und einem Flüssigkeitseinlaß 3 ausgebildet.

Ein Bereich des Zerstäubungsrohrs 42 der Zerstäubungseinheit B in einem Abschnitt b-c hat dieselbe Gestalt wie der entsprechende Bereich des Zerstäubungsrohrs 22 der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 20 von Fig. 11, und ein Bereich des Zerstäubungsrohrs 42 der Zerstäubungseinheit B in einem Abschnitt c-d hat dieselbe Gestalt wie ein Bereich in dem Abschnitt b-c des Zerstäubungsrohrs 22 der Zerstäubungseinheit B der in Fig. 1 gezeigten Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10.

Die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 40 ist ferner dadurch gekennzeichnet, daß das Beschleunigungsrohr 41 der Beschleunigungseinheit A (Abschnitt a-b) die Gestalt einer Lavalldüse hat und in Richtung zu seinem Flüssigkeitströpf-

chen-Ausstoßende allmählich divergiert. Die Länge des Beschleunigungsrohrs 41 der Beschleunigungseinheit A (Abschnitt a-b) der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 40 ist im Bereich von 30 bis 200 mm, und zwar aus den gleichen Gründen wie denen, die die Länge des Zerstäubungsrohrs 11 der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 der ersten Ausführungsform bestimmen. Die Querschnittsfläche eines Düsenhalses, d. h. eines Bereichs, der der Position b in Fig. 13 entspricht, in dem Zerstäubungsrohr 41 der Beschleunigungseinheit A muß 3 mm² oder mehr sein, und zwar aus denselben Gründen, die die kleinste Querschnittsfläche der Bohrung des Beschleunigungsrohrs 11 der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10 der ersten Ausführungsform bestimmen. In der Praxis liegt die Querschnittsfläche des Düsenhalses in dem Bereich von 3 bis 10 mm². Die Querschnittsfläche der Bohrung des Zerstäubungsrohrs 41 an dem Flüssigkeitströpfchen-Ausstoßende entsprechend Position a in Fig. 13 muß größer als die des Düsenhalses, also größer als 3 mm² sein. In der Praxis liegt die Querschnittsfläche der Bohrung des Zerstäubungsrohrs 41 an dem Flüssigkeitströpfchen-Ausstoßende im Bereich von 6 bis 20 mm².

Allgemein wird eine Lavaldüse verwendet, um ein Gas auf Überschallgeschwindigkeit zu beschleunigen. Bei der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 40 ist die Form des Zerstäubungsrohrs 41 optimiert, um Flüssigkeitströpfchen auf Überschallgeschwindigkeit zu beschleunigen. Aus Fig. 7 ist bekannt, daß die Durchflußrate der Flüssigkeit 100 ml/min oder größer sein muß, um ein Entfernen von Verunreinigungen mit einem befriedigenden Verunreinigungs-Entfernungsverhältnis zu erreichen. Eine übermäßig hohe Durchflußrate erhöht die Betriebskosten und ist wirtschaftlich ungünstig, und daher ist eine optimale Durchflußrate der Flüssigkeit im Bereich von 100 bis 300 ml/min. Wenn die Flüssigkeit mit einer Durchflußrate in diesem Bereich zugeführt wird, muß das Gas mit einer Durchflußrate im Bereich von 200 bis 600 ml/min zugeführt werden.

Die Querschnittsfläche des Halses des Beschleunigungsrohrs 41 der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 40 muß in dem Bereich von 3 bis 10 mm² oder größer als 10 mm² sein, um die erforderliche Durchflußrate zu gewährleisten, wenn der Zufuhrdruck des Gases maximal 7 kgf/cm² ist. Da Flüssigkeitströpfchen auf eine Überschallgeschwindigkeit beschleunigt werden können, wenn die Querschnittsfläche der Bohrung des Beschleunigungsrohrs 41 an dem Ausstoßende der Flüssigkeitströpfchen, das der Position a entspricht, das Zweifache der Querschnittsfläche des Düsenhalses beträgt, liegt eine optimale Querschnittsfläche der Bohrung des Beschleunigungsrohrs 41 an dem Flüssigkeitströpfchen-Ausstoßende im Bereich von 6 bis 20 mm². Wenn die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 40 den vorstehenden Bedingungen genügt, können Flüssigkeitströpfchen 1 mit einer Ausstoßgeschwindigkeit von ca. 500 m/s ausgestoßen werden, was ungefähr das 1,5-fache der Schallgeschwindigkeit ist.

Das Reinigungsvermögen der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 40, die die Flüssigkeitströpfchen 1 mit einer Überschallgeschwindigkeit ausstoßen kann, ist höher als das einer Düse zum Reinigen durch Eiswäsche, das der herkömmlichen Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 und das der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10, 20 und 30 gemäß den Fig. 1, 11 und 12.

Fünfte Ausführungsform

Fig. 14 ist ein Längsschnitt einer fünften Ausführungsform einer Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 50.

Die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 50 hat eine Beschleunigungseinheit A (Abschnitt a-b) mit einem Beschleunigungsrohr 51 und eine Zerstäubungseinheit B (Abschnitt b-d) mit einem Zerstäubungsrohr 52, in dem eine Druckflüssigkeit von einem Druckgas zerstäubt wird. Das Zerstäubungsrohr 52 weist einen Gaseinlaß 2 auf, durch den das Druckgas in das Zerstäubungsrohr 52 zugeführt wird, und einen Flüssigkeitseinlaß 3, durch den die Flüssigkeit in das Zerstäubungsrohr 52 zugeführt wird. Die jeweiligen Formen der Beschleunigungseinheit A (Abschnitt a-b) und der Zerstäubungseinheit B (Abschnitt b-c) der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 50 sind gleich denen der Beschleunigungseinheit A und der Zerstäubungseinheit B der in Fig. 1 gezeigten Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 10.

Die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 50 hat ein Leitelement 55, das an dem Flüssigkeitströpfchen-Ausstoßende des Beschleunigungsrohrs 51 entsprechend einer Position a in Fig. 14 oder einem Bereich des Beschleunigungsrohrs 51 in einem Abschnitt a-b in Fig. 14 angebracht ist, um die Richtung von Strahlen des Gases und der Flüssigkeitströpfchen zu kontrollieren bzw. zu leiten. Das Leitelement 55 ist eine flache Platte, die sich von dem Beschleunigungsrohr 51 der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 50 um eine Distanz im Bereich von 10 bis 100 mm in Richtungen erstreckt, die zu der Ausstoßrichtung der Flüssigkeitströpfchen senkrecht sind.

Fig. 15 ist eine typische Ansicht einer Reinigungsvorrichtung und eines Reinigungsverfahrens mit der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 50, um beispielsweise Halbleiterwafer zu reinigen.

Die Reinigungsvorrichtung hat eine Gaszuführeinheit 2a zum Druckbeaufschlagen eines Gases und Zuführen des Druckgases zu der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 50, eine Flüssigkeitszuführeinheit 3a zum Druckbeaufschlagen einer Flüssigkeit und Zuführen der Druckflüssigkeit zu der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 50, einen Tisch 6 zur festen Halterung eines Halbleiterwafers 5, einen Motor 7 zum Drehen des Tisches 6, einen Arbeitstrichter 8, um das Streuen der Flüssigkeitströpfchen während eines Reinigungsvorgangs zu verhindern, eine Ablaufleitung 9, die an den Arbeitstrichter 8 angeschlossen ist, und einen Industrieroboter, der einen Roboterarm 4 hat, um die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 50 zu halten und zu bewegen.

Während eines Reinigungsvorgangs ist die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 50 so angeordnet, daß das Leitelement 55 in einem Abstand von 5 bis 50 mm von der Oberfläche des Halbleiterwafers 5 ist und sich zu der Oberfläche des Halbleiterwafers 5 im wesentlichen parallel erstreckt.

Wie die Fig. 14 und 15 zeigen, ist das Leitelement 55 eine kreisrunde Platte mit einem Radius von 50 mm und an dem Flüssigkeitströpfchen-Ausstoßende der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 50 angebracht. Bei einem Reinigungsvorgang wird die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 50 in einer vertikalen Position gehalten, wobei das Leitelement 55 um 20 mm von der Oberfläche des Halbleiterwafers 5 beabstandet und parallel zu der Oberfläche des Halbleiterwafers 5 ist, und wird horizontal entlang der Oberfläche des Halbleiterwafers 5 bewegt, um die Oberfläche des Halbleiterwafers 5 zu reinigen.

Strahlen von Flüssigkeitströpfchen 1 und Gas, die aus der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 50 ausgestoßen werden,

treffen auf die Oberfläche des Halbleiterwafers 5 auf und werden nach oben gestreut. Das Leitelement 55 stoppt die gestreuten Flüssigkeitströpfchen, so daß die Flüssigkeitströpfchen 1 und das Gas sich entlang der Oberfläche des Halbleiterwafers 5 verteilen. Die Flüssigkeitströpfchen 1 und das Gas werden zwar als Strahlen hoher Geschwindigkeit ausgestoßen, aber die Geschwindigkeit der Strahlen wird durch den Pralleffekt des Leitelements 55, wenn die Strahlen sich zum Rand des Leitelements 55 ausbreiten, verringert.

Wenn dabei die Länge des Beschleunigungsrohrs 51 der Beschleunigungseinheit A (Abschnitt a-b) 100 mm ist, die Querschnittsfläche der Bohrung des Beschleunigungsrohrs 51 7 mm^2 ist, die Durchflußrate des Gases 150 l/min ist und die Durchflußrate der Flüssigkeit 100 ml/min ist, ist die Geschwindigkeit der Strahlen am Austrittsende des Beschleunigungsrohrs 51 330 m/s, was ungefähr gleich der Schallgeschwindigkeit ist, und die Geschwindigkeit der Strahlen am Außenrand des Leitelements 55 ist 0,4 m/s.

Wenn die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 50 kein Leitelement aufweist, prallen Strahlen des Gases und der Flüssigkeitströpfchen, die aus der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 50 ausgestoßen werden, von der Oberfläche des Halbleiterwafers 5 zurück und werden nach oben gestreut. An der Oberfläche des Wafers 5 haftende Verunreinigungen werden von der Oberfläche des Halbleiterwafers 5 durch den Aufprall der Flüssigkeitströpfchen einmal entfernt, gemeinsam mit den Flüssigkeitströpfchen nach oben gestreut und haften dann erneut an der Oberfläche des Halbleiterwafers 5, so daß der Halbleiterwafer 5 erneut verunreinigt wird. Wenn also die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 50 nicht mit irgendeinem Leitelement versehen ist, wird die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 50 so gehalten, daß ihre Achse unter einem Winkel von 60° oder weniger zu der Oberfläche des Halbleiterwafers 5 geneigt ist, und der Arbeitstrichter 8 wird mit hoher Rate evakuiert, um die Strahlen des Gases und der Flüssigkeitströpfchen, die aus der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 50 ausgestoßen werden, und die von der Oberfläche des Halbleiterwafers 5 entfernten Verunreinigungen rasch von der Oberfläche des Halbleiterwafers 5 abzuführen.

Das Leitelement 55 löst das Problem einer Sekundärverunreinigung des Halbleiterwafers 5. Daher kann die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 50 in einer vertikalen Position gehalten werden, und somit ist die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 50 in der Lage, eine hohe Reinigungskraft auf Verunreinigungen aufzubringen. Da die Geschwindigkeit der Strahlen zum Rand des Leitelements 55 hin abnimmt, kann der Arbeitstrichter 8 mit relativ niedriger Abführungsrate evakuiert werden. Konkret bedeutet das, daß, während der Arbeitstrichter 8 mit einer Abführungsrate von ca. $5 \text{ m}^3/\text{min}$ oder höher evakuiert werden muß, wenn die herkömmliche Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 70 von Fig. 18 verwendet wird, der Arbeitstrichter 8 bei Anwendung der Erfindung mit einer Abführungsrate von höchstens $2 \text{ m}^3/\text{min}$ evakuiert werden muß, wenn die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 50 verwendet wird.

Die Wirkung des Leitelements 55 zur Unterdrückung des Streuens von Strahlen wird verringert, wenn das Leitelement 55 übermäßig weit von der Oberfläche des Halbleiterwafers 5 beabstandet ist. Wenn das Leitelement 55 übermäßig nah an der Oberfläche des Halbleiterwafers 5 ist, wird der Widerstand gegen den Gasstrom, der durch den Raum zwischen dem Leitelement 55 und der Oberfläche des Halbleiterwafers 5 strömt, und damit die Flüssigkeitströpfchen-Ausstoßgeschwindigkeit verringert. Es ist daher erwünscht, das Leitelement 55 in einem Abstand im Bereich von 5 bis 50 mm von der Oberfläche des Halbleiterwafers 5 anzuordnen.

Wenn der Durchmesser des Leitelements 55, das die Gestalt einer kreisförmigen Platte hat, übermäßig klein ist, ist die Wirkung des Leitelements 55 beim Verhindern eines Streuens der Strahlen unbedeutend. Wenn der Durchmesser des Leitelements 55 übermäßig groß ist, ergeben sich Probleme in bezug auf die Konstruktion der Reinigungsvorrichtung und der Bewegung des Roboterarms 4. Daher liegt ein geeigneter Radius des Leitelements 55, das die Gestalt einer kreisrunden Platte hat, in dem Bereich von 10 bis 100 mm.

Sechste Ausführungsform

Die Fig. 16(a), 16(b) und 16(c) sind Schnittdarstellungen einer Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 60 der sechsten Ausführungsform.

Die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 60 hat eine Beschleunigungseinheit A (Abschnitt a-b) mit einem Beschleunigungsrohr 61, eine Zerstäubungseinheit B (Abschnitt b-d) mit einem Zerstäubungsrohr 62 und ein Leitelement 65, das an dem Ausstoßende des Beschleunigungsrohrs 61 angebracht ist. Das Zerstäubungsrohr 62 weist einen Gaseinlaß 2, durch den ein Druckgas in das Zerstäubungsrohr 62 zugeführt wird, und einen Flüssigkeitseinlaß 3 auf, durch den eine Flüssigkeit in das Zerstäubungsrohr 62 zugeführt wird. Die jeweiligen Formen der Beschleunigungseinheit A (Abschnitt a-b) und der Zerstäubungseinheit B (Abschnitt b-c) sind die gleichen wie bei der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 50 gemäß Fig. 14.

Fig. 16(b) ist eine Querschnittsansicht eines Leitelements 65 entlang einer Ebene, die zu der Blattoberfläche in Fig. 16(a) senkrecht ist, und Fig. 16(c) ist eine Endansicht der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 60 in einer Richtung, die zu einer Flüssigkeitströpfchen-Ausstoßrichtung entgegengesetzt ist.

Das Leitelement 65 der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 60 hat die Gestalt eines Kastens mit einer offenen Seite und einem offenen Ende, das sich in Richtung des Ausstoßes der Flüssigkeitströpfchen öffnet. Die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 60 wird so verwendet, daß die offene Seite des Leitelements 65 zu der Einlaßöffnung einer Ablaufleitung 9 gerichtet ist. Die Geschwindigkeit von Strahlen, die aus der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 60 ausgestoßen werden, ist im Bereich des Leitelements relativ niedrig, und der größte Teil der Strahlen strömt durch die offene Seite des Leitelements 65 in Richtung zu der Ablaufleitung 9, wodurch der Ableitungswirkungsgrad verbessert wird und somit die Ableitung verringert werden kann.

Dadurch, daß das Leitelement 65 an oder nahe dem Ausstoßende der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse 60 angeordnet ist, um die Gas- und Flüssigkeitströpfchen-Strahlen zu stoppen, die von der Oberfläche eines Werkstücks wie etwa eines Halbleiterwafers zurückprallen, wird der Ableitungswirkungsgrad verbessert, und damit wird die Reinigungswirkung der Reinigungsvorrichtung, die die das Leitelement 65 aufweisende Zweifluid-Reinigungsstrahldüse verwendet, auch dann zufriedenstellend, wenn die Ableitungsrate niedrig ist.

Die Wirkungen und Vorteile der Erfindung sind folgende:

Wie im einzelnen beschrieben wurde, ist bei der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse der Erfindung die Querschnittsfläche des engsten Bereichs der Bohrung des Zerstäubungsrohrs der Zerstäubungseinheit, in der die Flüssigkeit von dem Druckgas zerstäubt wird, größer als die des engsten Bereichs der Bohrung des Beschleunigungsrohrs der Beschleunigungseinheit, die die Flüssigkeitströpfchen beschleunigt und ausstößt. Daher ist die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse imstande, die Flüssigkeitströpfchen mit hoher Ausstoßgeschwindigkeit auch dann auszustoßen, wenn der Druck des Druckgases relativ niedrig ist, so daß eine hohe Reinigungswirkung erreicht wird.

Das Beschleunigungsrohr, das die Gestalt eines runden geraden Rohrs und optimale Dimensionen hat, kann die Flüssigkeitströpfchen mit einer höheren Ausstoßgeschwindigkeit ausstoßen.

Das Beschleunigungsrohr der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse der Erfindung, das die Gestalt einer Lavalldüse hat, die von einem mit dem Zerstäubungsrohr verbundenen Bereich zu ihrem Ausstoßende divergiert und optimale Dimensionen hat, kann Flüssigkeitströpfchen mit Überschall-Ausstoßgeschwindigkeit ausstoßen.

Bei der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse der Erfindung hat das Zerstäubungsrohr, in dem die Flüssigkeit durch das Druckgas zerstäubt wird, zylindrische Gestalt mit optimalen Dimensionen. Daher kann die Flüssigkeit zufriedenstellend in Form von optimalen Flüssigkeitströpfchen zerstäubt werden, um dadurch die Reinigungswirkung der Flüssigkeitströpfchen zu verstärken.

Bei der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse der Erfindung ist das Zerstäubungsrohr konisch verjüngt, so daß die Querschnittsfläche seiner Bohrung in Richtung zu der Verbindung zwischen Zerstäubungsrohr und Beschleunigungsrohr allmählich abnimmt, und das Zerstäubungsrohr ist mit optimalen Dimensionen geformt. Daher können feine Flüssigkeitströpfchen erzeugt werden, und die Flüssigkeitströpfchen können mit hoher Ausstoßgeschwindigkeit ausgestoßen werden.

Bei der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse der Erfindung sind der Gaseinlaß und der Flüssigkeitseinlaß des Zerstäubungsrohrs mit optimalen Querschnittsflächen ausgebildet, und die Flüssigkeit kann in feinen Flüssigkeitströpfchen wirkungsvoll zerstäubt werden, um die Reinigungswirkung zu verstärken.

Bei der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse der Erfindung hat die Zerstäubungseinheit zum Zerstäuben einer Flüssigkeit durch ein Druckgas eine Doppelrohrkonstruktion, bestehend aus einem Bereich des Zerstäubungsrohrs, in den das Druckgas zugeführt wird, und dem vorderen Endbereich des Flüssigkeitszuführrohrs, durch den die Flüssigkeit in das Zerstäubungsrohr in Strömungsrichtung des Gases zugeführt wird. Daher kann die Flüssigkeit wirkungsvoll zu feinen Flüssigkeitströpfchen zerstäubt werden, um die Reinigungswirkung zu verstärken.

Bei der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse der Erfindung hat die Zerstäubungseinheit zum Zerstäuben einer Flüssigkeit durch ein Druckgas eine Dreifachrohr-Konstruktion, bestehend aus einem Bereich des Zerstäubungsrohrs, in den das Gas zugeführt wird, einem Flüssigkeitszuführrohr, das sich in das Zerstäubungsrohr erstreckt, um die Flüssigkeit in das Zerstäubungsrohr auszustoßen, und einem Gaszuführrohr, das sich in das Flüssigkeitszuführrohr erstreckt, um das Gas in das Zerstäubungsrohr auszustoßen. Daher kann die Flüssigkeit wirksam zu feinen Flüssigkeitströpfchen zerstäubt werden, und die feinen Flüssigkeitströpfchen können weiter zu noch feineren Flüssigkeitströpfchen zerstäubt werden.

Bei der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse der Erfindung ist ein Leitelement an einem Bereich des Beschleunigungsrohrs nahe dem Ausstoßende angebracht und erstreckt sich senkrecht zu der Flüssigkeitströpfchen-Ausstoßrichtung, und das Leitelement ist mit optimalen Dimensionen gebildet. Daher können an der Oberfläche eines Werkstücks wie etwa eines Halbleiterwafers haftende Verunreinigungen entfernt werden, ohne daß die Oberfläche des Werkstücks beschädigt wird.

Die Reinigungsvorrichtung, die die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse der Erfindung verwendet, kann einen wirkungsvollen Verunreinigungs-Entfernungsvorgang durch die Verwendung der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse ausführen, um Verunreinigungen von einem Werkstück wie etwa einem Halbleiterwafer zu entfernen. Wenn die Reinigungsvorrichtung die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse mit dem Leitelement aufweist, kann das Streuen der Flüssigkeitströpfchen verhindert werden, und der Arbeitstrichter kann mit einer niedrigen Ableitungsrate evakuiert werden.

Bei der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse der Erfindung und der Reinigungsvorrichtung der Erfindung werden die jeweiligen Zuführdrücke des Gases und der Flüssigkeit selektiv bestimmt. Daher ist die Reinigungsvorrichtung, die die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse der Erfindung verwendet, imstande, ihr Reinigungsvermögen ordnungsgemäß für einen starken Reinigungsbetrieb auszuüben.

Patentansprüche

1. Zweifluid-Reinigungsstrahldüse, gekennzeichnet durch

eine Zerstäubungseinheit (B), um eine Druckflüssigkeit mit einem Druckgas zu Flüssigkeitströpfchen zu zerstäuben; und

eine Beschleunigungseinheit (A), um die Flüssigkeitströpfchen in die Atmosphäre auszustoßen;

wobei die Querschnittsfläche des engsten Bereichs eines Durchlasses für das Gas in der Zerstäubungseinheit (B) größer als die Querschnittsfläche des engsten Bereichs eines Durchlasses in der Beschleunigungseinheit (A) ist.

2. Zweifluid-Reinigungsstrahldüse nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Beschleunigungseinheit (A) ein gerades Rohr hat, das eine Bohrung mit Kreisquerschnitt hat.

3. Zweifluid-Reinigungsstrahldüse nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Beschleunigungseinheit (A) ein gerades Rohr mit einer Länge im Bereich von 30 bis 200 mm hat, das eine Bohrung mit 3 mm² oder mehr Querschnittsfläche hat.

4. Zweifluid-Reinigungsstrahldüse nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Bohrung des geraden Rohrs (41) der Beschleunigungseinheit (A) von einem Ende, das mit der Zerstäubungseinheit (42) verbunden ist, wie die Bohrung einer Lavalldüse in Flüssigkeitströpfchen-Ausstoßrichtung allmählich divergiert.

5. Zweifluid-Reinigungsstrahldüse nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das gerade Rohr (41) der Beschleunigungseinheit (A) eine Länge im Bereich von 30 bis 200 mm und einen Düsenhals mit einer Querschnittsfläche von 3 mm² oder mehr hat.

6. Zweifluid-Reinigungsstrahldüse nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Zerstäubungseinheit (B) zy-

lindrische Gestalt hat.

7. Zweifluid-Reinigungsstrahldüse nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Zerstäubungseinheit (32, 42) eine Gestalt hat, die in Richtung zu ihrem mit der Beschleunigungseinheit (31, 41) verbundenen Ende konvergiert.

8. Zweifluid-Reinigungsstrahldüse nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Zerstäubungseinheit (22) ein erstes Rohr (22) zum Leiten des Gases und ein zweites Rohr (23) hat, um die Flüssigkeit in das erste Rohr (22) in Strömungsrichtung des Gases einzupressen.

9. Zweifluid-Reinigungsstrahldüse nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Strömungsrichtung des Gases in dem ersten Rohr (22) und die Strömungsrichtung der Flüssigkeit in dem zweiten Rohr (23) gleich wie eine Richtung sind, in der die Flüssigkeitströpfchen ausgestoßen werden.

10. Zweifluid-Reinigungsstrahldüse nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Zerstäubungseinheit (B) ein erstes Rohr (32) zum Leiten des Gases, ein in dem ersten Rohr angeordnetes zweites Rohr (33) zum Ausstoßen der Flüssigkeit und ein in dem zweiten Rohr angeordnetes drittes Rohr (34) zum Ausstoßen des Gases hat.

11. Zweifluid-Reinigungsstrahldüse nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Strömungsrichtung des Gases in dem ersten und dem dritten Rohr (32, 34) und die Strömungsrichtung der Flüssigkeit in dem zweiten Rohr (33) gleich wie eine Richtung sind, in der die Flüssigkeitströpfchen ausgestoßen werden.

12. Zweifluid-Reinigungsstrahldüse nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Querschnittsfläche eines Gaseinlasses, durch den das Gas in die Zerstäubungseinheit (B) zugeführt wird, größer als die Querschnittsfläche der Bohrung des Beschleunigungsrohrs (11, 21, 31, 41, 51, 61) ist.

13. Zweifluid-Reinigungsstrahldüse nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Beschleunigungseinheit (A) in ihrem vorderen Endbereich mit einem Leitelement (55) ausgebildet ist, das sich im wesentlichen senkrecht zu der Flüssigkeitströpfchen-Ausstoßrichtung erstreckt.

14. Reinigungsvorrichtung, gekennzeichnet durch die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse nach Anspruch 1;

eine Gaszuführeinrichtung (2a), die mit der Zerstäubungseinheit (B) der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse verbunden ist, um ein Druckgas in die Zerstäubungseinheit (B) zuzuführen; und

eine Flüssigkeitszuführeinrichtung (3a), die mit der Zerstäubungseinheit (B) der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse verbunden ist, um eine Druckflüssigkeit in die Zerstäubungseinheit (B) zuzuführen.

15. Reinigungsvorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Zweifluid-Reinigungsstrahldüse so angeordnet ist, daß sich das Vorderende der Beschleunigungseinheit (A) von der Oberfläche eines zu reinigenden Werkstücks in einem Abstand im Bereich von 5 bis 50 mm befindet.

16. Reinigungsvorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß das Gas und die Flüssigkeit der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse mit einem Druck in dem Bereich von 1 bis 10 kgf/cm² zugeführt werden.

17. Reinigungsverfahren für ein Werkstück, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

Zuführen eines Druckgases in eine Zerstäubungseinheit (B) der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse nach Anspruch 1 aus einer mit der Zerstäubungseinheit (B) verbundenen Gaszuführeinrichtung (2a);

Zuführen einer Druckflüssigkeit in die Zerstäubungseinheit (B) der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse aus einer mit der Zerstäubungseinheit (B) verbundenen Flüssigkeitszuführeinrichtung (3a); und

Ausstoßen des Gases, das mit den Flüssigkeitströpfchen vermischt ist, aus der Zweifluid-Reinigungsstrahldüse, so daß es auf das Werkstück auftrifft.

Hierzu 10 Seite(n) Zeichnungen

FIG. 1

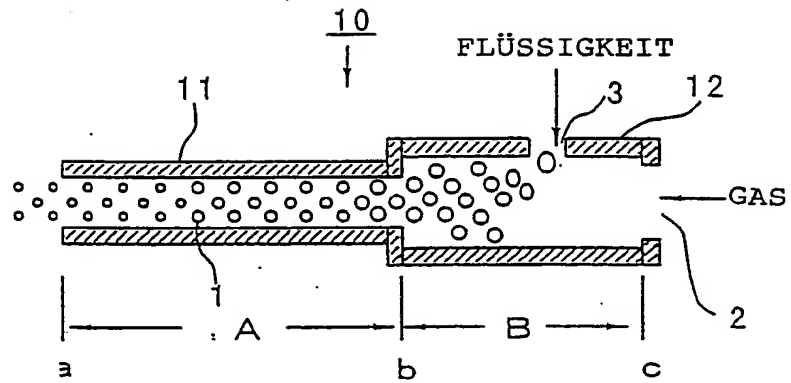


FIG. 2

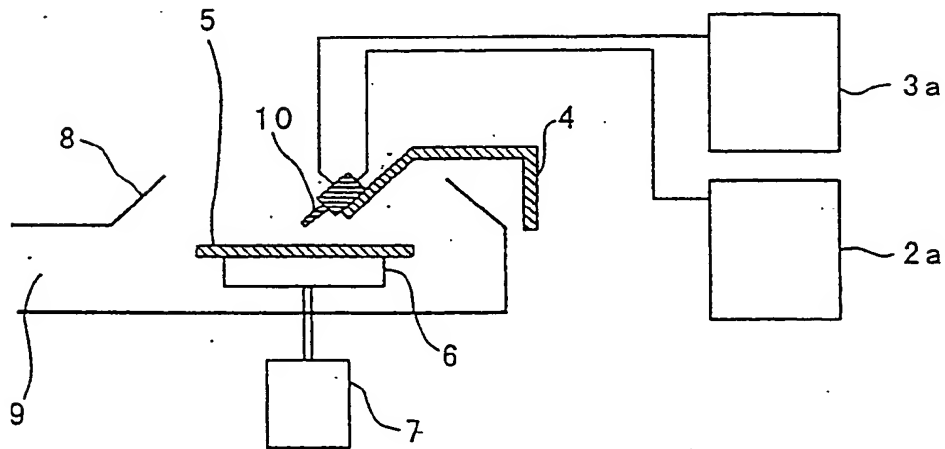


FIG. 3

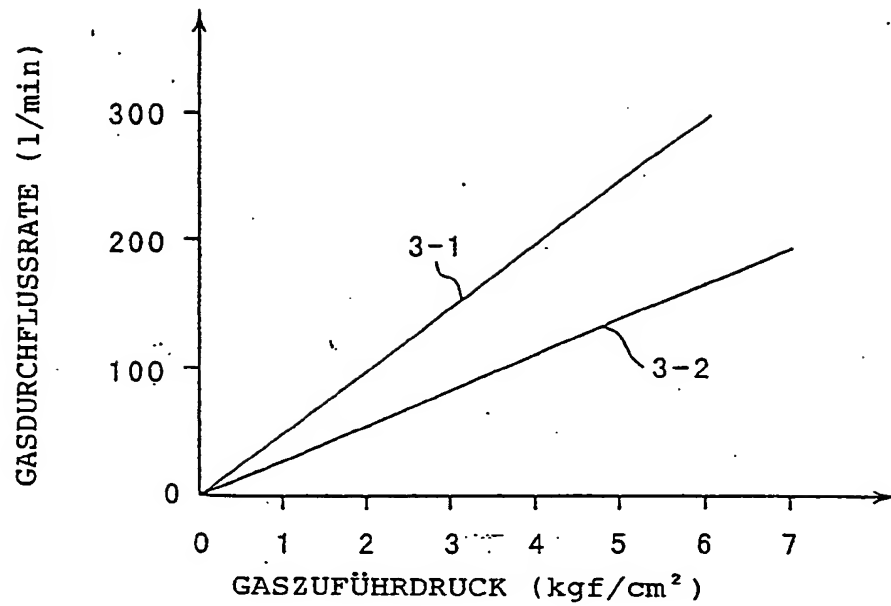


FIG. 4

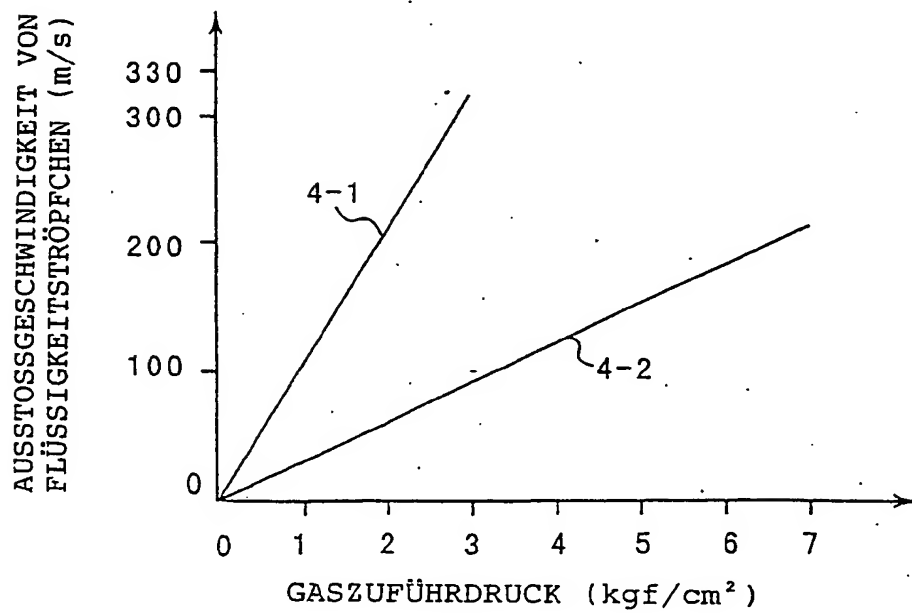


FIG. 5

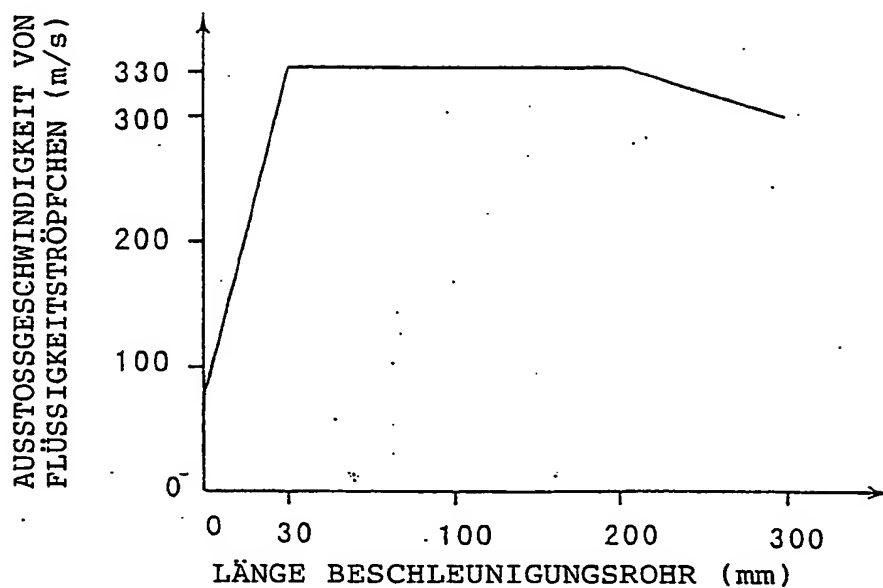


FIG. 6

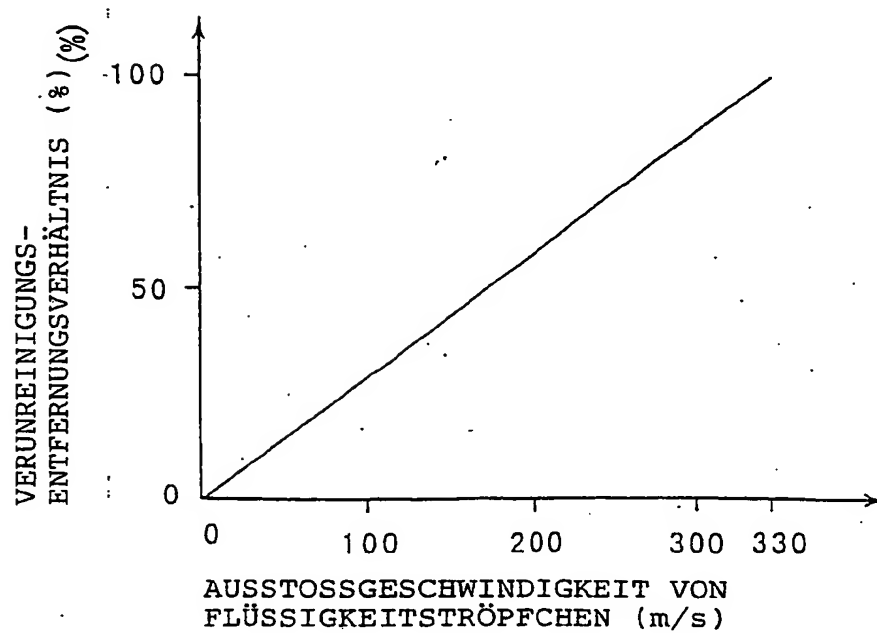


FIG. 7

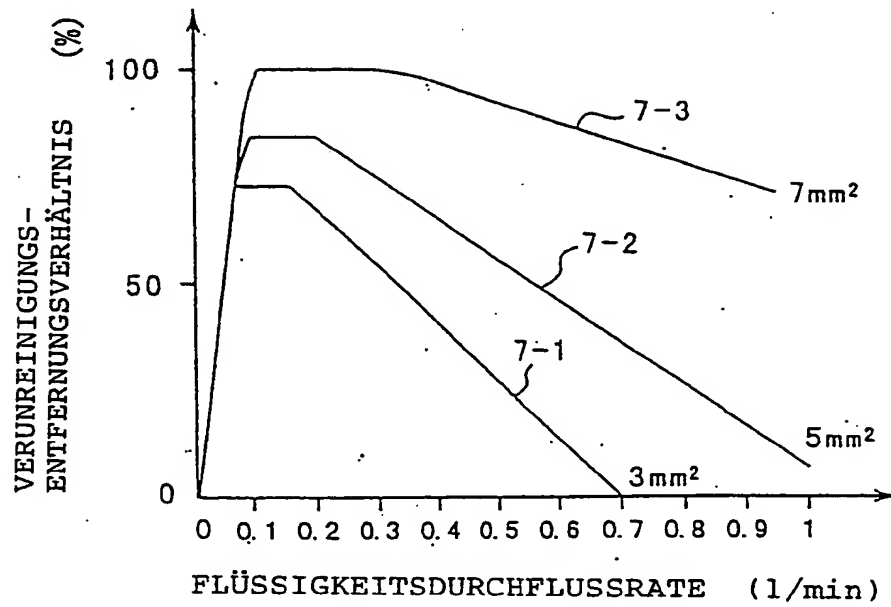


FIG. 8

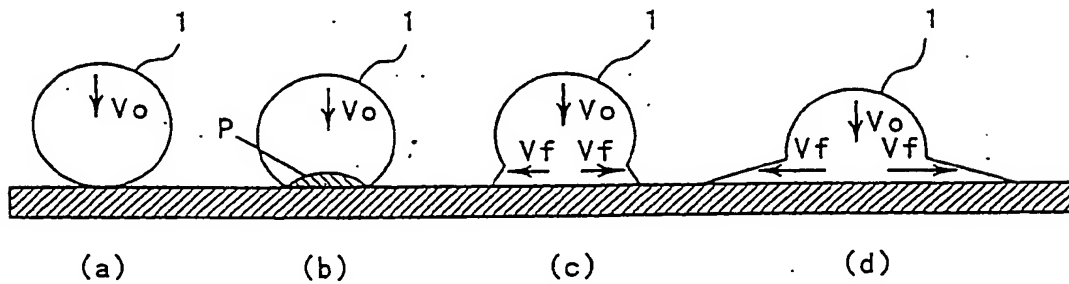


FIG. 9

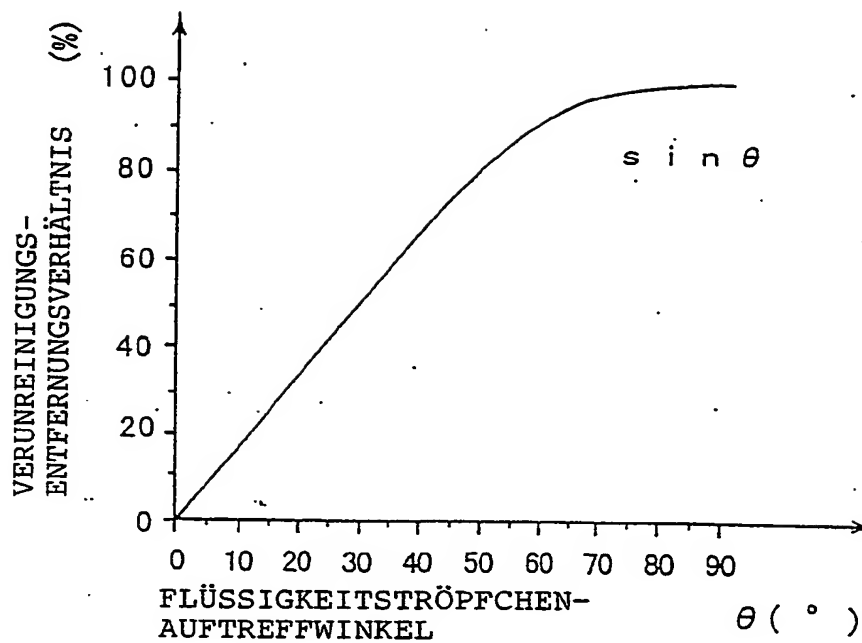


FIG. 10

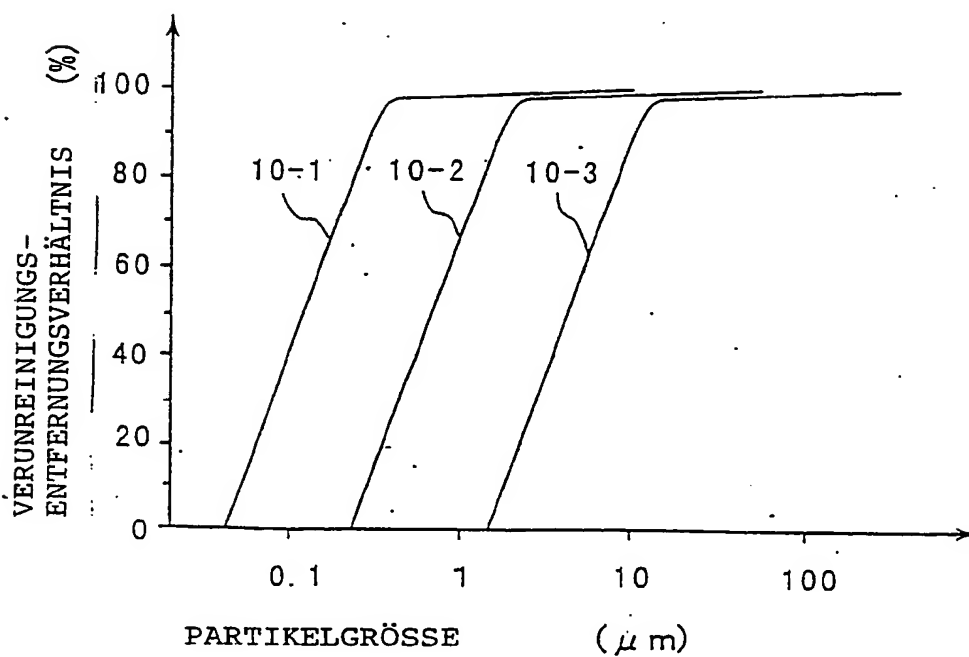


FIG. 11

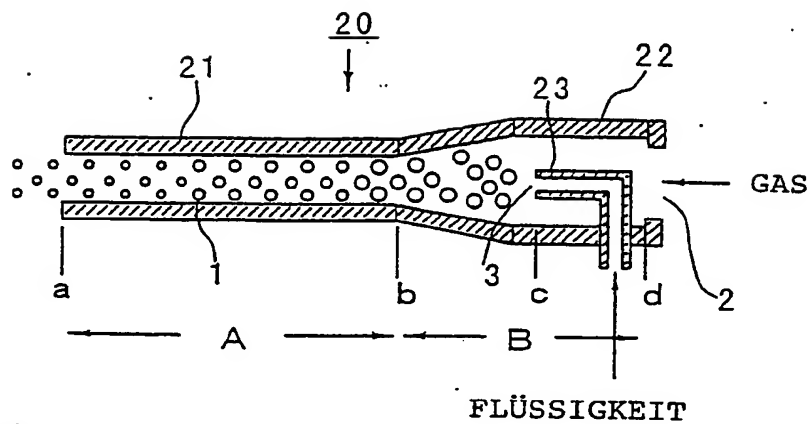


FIG. 12

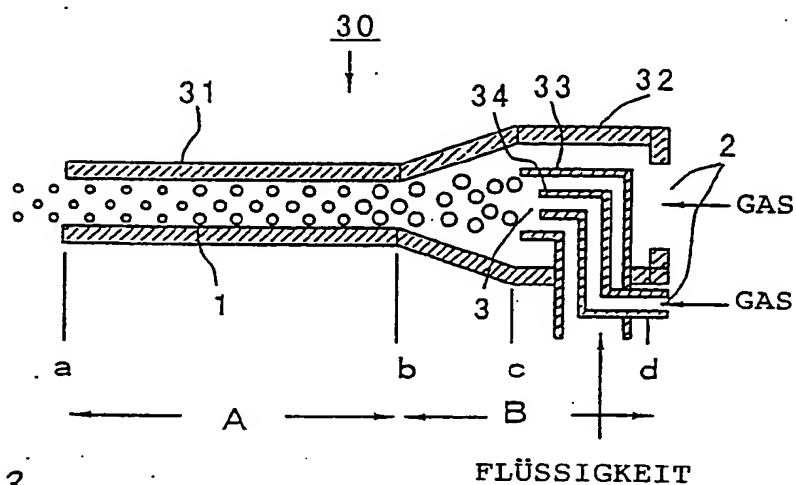


FIG. 13

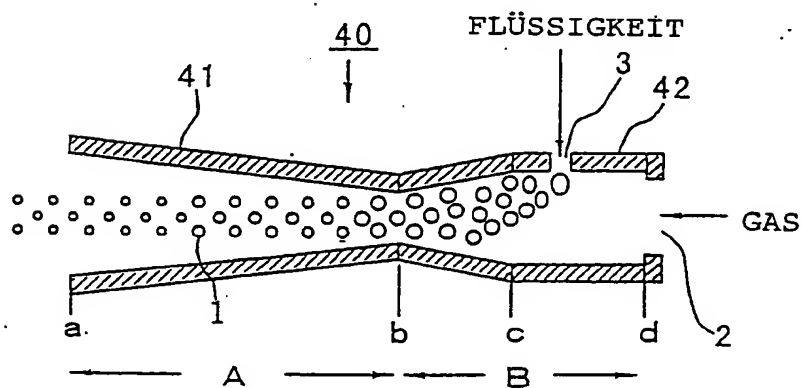


FIG. 14

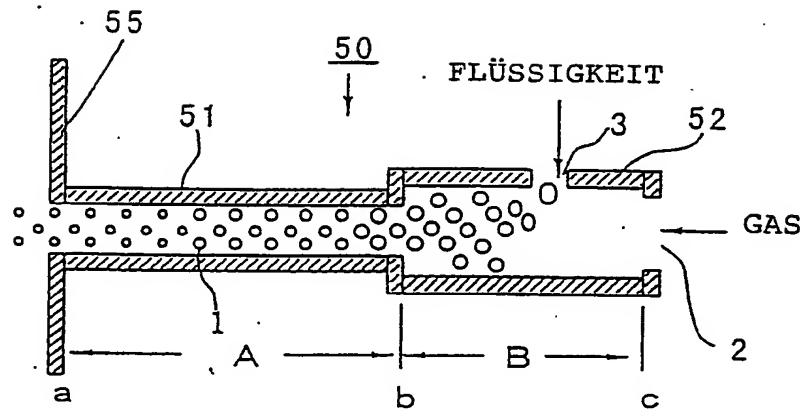


FIG. 15

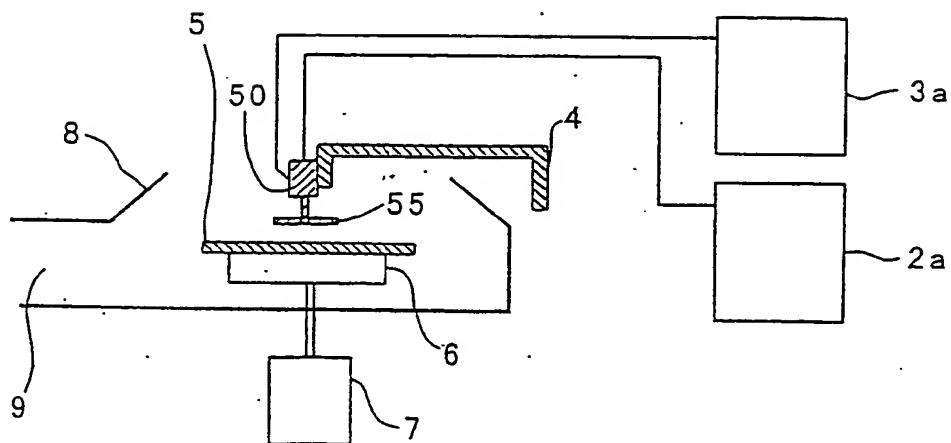
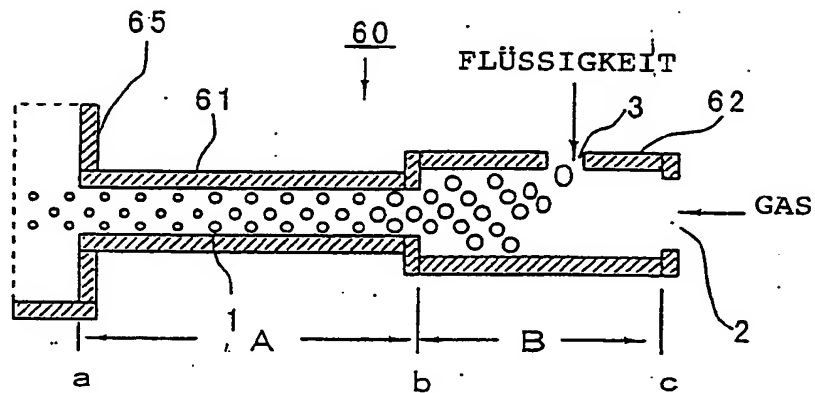
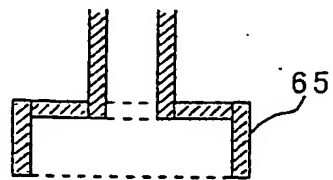


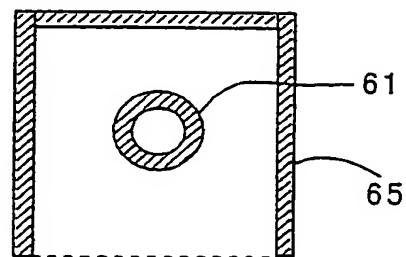
FIG. 16



(a)



(b)



(c)

FIG. 17

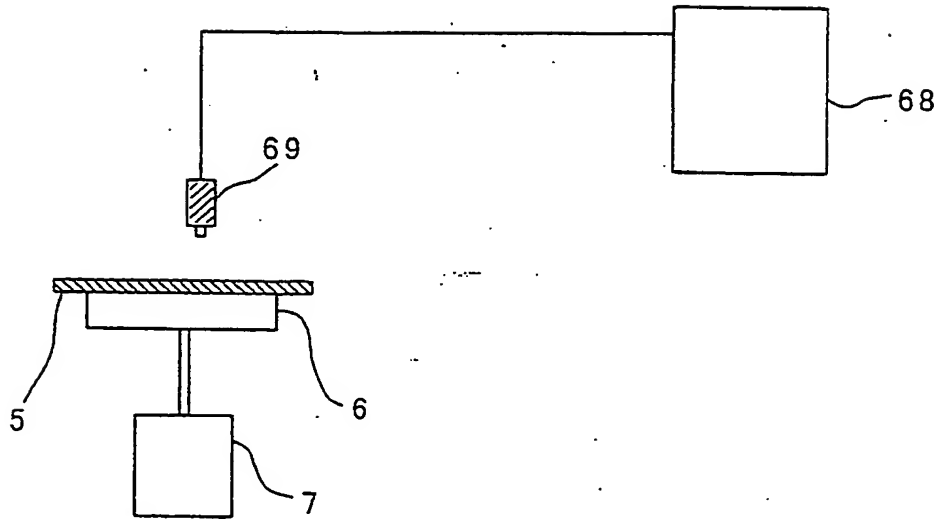


FIG. 18

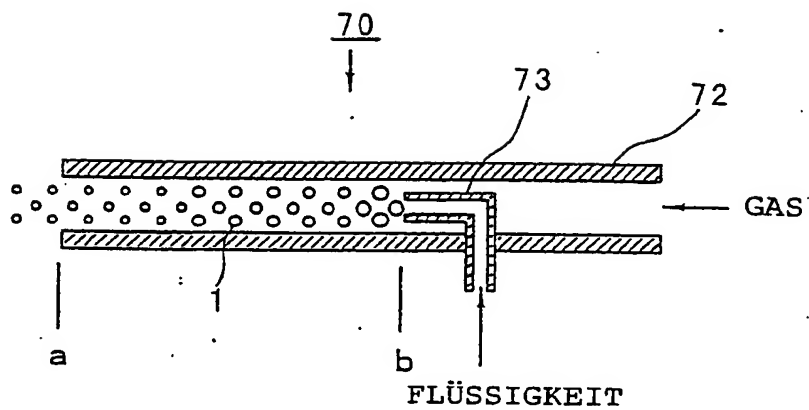


FIG. 19

